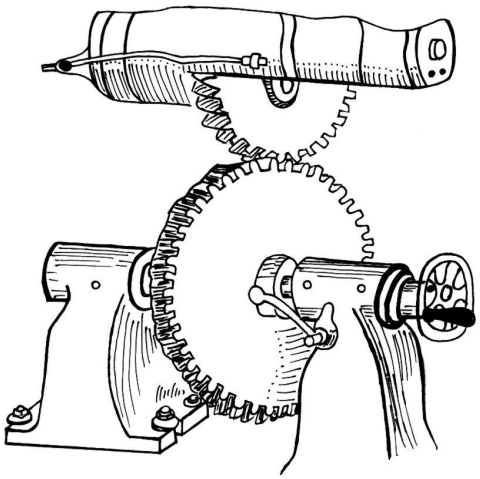
П.П. МЕЛЬНИЧУК, А.І. БОРОВИК, П.А. ЛІНЧЕВСЬКИЙ

Технологія машинобудування



Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний технологічний університет

П.П. МЕЛЬНИЧУК, А.І. БОРОВИК, П.А. ЛІНЧЕВСЬКИЙ

Технологія машинобудування

Підручник

Житомир 2005

У підручнику розглянуті теоретичні основи технології машинобудування. Висвітлені питання точності обробки та складання, забезпечення якості поверхонь деталей, технологічні основи підвищення продуктивності механічної обробки. Викладена методика побудови високопродуктивних і економічних технологічних процесів механічної обробки та складання машин. Розглянуті типові технологічні процеси машинобудування.

Для студентів спеціальностей “Технологія машинобудування”, “Металорізальні верстати та системи”.

До нашого Читача

Ви взяли в руки підручник. Це – перше видання повного курсу українською мовою. Його обсяг Вас дивує і лякає: чи можливо засвоїти цей матеріал? Ми хочемо Вас заспокоїти: всього не треба завчати. Наша задача – ознайомити Вас з результатами роботи багатьох поколінь вчених та інженерів і розвинути Вашу технічну творчість.

Робота з підручником повинна підвести Вас до розв'язання питань побудови високопродуктивних і економічних технологічних процесів виготовлення машин потрібної якості і заданої собівартості, що повністю відповідає вибраній Вами інженерній спеціальності. Для цього треба творчо опанувати першу частину підручника, яка закладає фундамент розуміння та практичного оволодіння рештою частиною матеріалу підручника.

Звертаємо Вашу увагу, що друга частина логічно витікає з першої, як і третя – з перших двох. Логічний зв'язок пронизує також всі теми підручника.

Отже, треба знайти одну ланку, щоб витягнути весь ланцюжок. Ланка – це теоретичні базові питання, які викладені в першій частині, а як "витягувати ланцюжок" на конкретних реальних прикладах показано в другій і третій частинах.

Підручник передбачає розв'язання двоєдиної задачі: дати можливість добре засвоїти відоме і, ясно усвідомивши мету, підійти до створення нового.

Перш, ніж приступити до вивчення викладеного матеріалу, ретельно проаналізуйте його зміст. Це дає уяву про логічний зв'язок окремих частин і значно полегшує сприйняття навчального матеріалу. Треба також детально вивчити методичні рекомендації студентам і викладачам по опрацюванню матеріалу, які надані до кожної частини підручника.

У нашого допитливого Читача може виникнути запитання: "Чому в наш інформаційний вік в пропонованому підручнику не йдеться про використання обчислювальної техніки?" І це запитання закономірне. Справа в тому, що в сучасний період інтенсивно відбувається як взаємопроникнення, так і диференціація наук. Системи автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП) і системи автоматизованого проектування оснастки (САПР оснащення), автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП) набули самодостатнього розвитку і викладаються у вищих начальних закладах як окремі дисципліни, тобто Вас, шановний Читачу це не обійде, ці дисципліни Вам будуть викладати паралельно з курсом "Технологія машинобудування", який є базою для автоматизації.

А тепер відкрийте наступну сторінку, прочитайте "Передмову", "Методичні рекомендації...", "Вступ" і – за роботу. Ви наша зміна, ми надіємось на Вас і бажаємо Вам успіхів!

Автори книги

Передмова

Мета підручника – підготовка студента до самостійної творчої роботи і виконання технологічних процесів виготовлення машин, які відповідають повною мірою своєму службовому призначенні при найменшій собівартості.

На відміну від раніше виданих посібників з “Технології машинобудування” цей підручник в трьох частинах охоплює повний курс і побудований за принципом системного – підходу від загального до окремого, спочатку дається систематизоване викладення теоретичних основ, потім методики побудови технологічних процесів і, на основі цього, – технологія виготовлення конкретних виробів. Системний підхід витриманий також і при побудові кожної з частин. Так, наприклад, питання “Технологічність виробів”, “Припуски на обробку”, “Якість виробів” спочатку розглядаються як загальні поняття, а потім конкретизуються в контексті розробки технології.

В підручнику на кожну частину передбачені методичні рекомендації студентам та викладачам. Це – досить важливий елемент його структури. Він надає допомогу студентам та викладачам у користуванні книгою, в опрацюванні її матеріалу, сприяє підвищенню продуктивності навчальної праці. В цих рекомендаціях викладений також зміст практичних занять, індивідуальних завдань для самостійної роботи та напрямки наукових досліджень, у відповідності з якими повинна формуватися тематика лабораторних робіт. Кожна тема підручника містить питання для самоконтролю засвоєння знань. Ці питання досить диференційовані і дають змогу студентам через прості поняття прийти до розуміння змісту всієї теми. Теми, які присвячені розрахункам, як правило, супроводжуються прикладами розв’язання задач. На цих прикладах можуть бути побудовані завдання для практичних аудиторних занять під контролем викладача. У підручнику розміщений необхідний інформаційно-нормативний матеріал. Це дає змогу розв’язувати задачі цієї дисципліни, практично не звертаючись до інших джерел (як правило, російськомовних), що скорочує час на вирішення практичних питань, підвищує продуктивність навчальної праці. Наявність інформаційно-нормативного матеріалу та прикладів розв’язання практичних задач дозволяє використовувати підручник при курсовому та дипломному проектуванні. В підручнику зосереджено увагу на тому,

що теоретичні питання щодо забезпечення якості поверхонь деталей методами механічної обробки розв'язані тільки для окремих конкретних випадків, загальна ж теорія потребує своєї подальшої наукової розробки. Це мобілізує фахівців до творчих пошуків. У підручнику приділяється значна увага економічному обгрунтуванню прийнятих технологічних рішень. Це відповідає змісту дисципліни "Технологія машинобудування". Матеріал підручника добре ілюстрований, що сприяє кращому розумінню та засвоєнню матеріалу підручника.

Підручник складається з трьох частин:

В першій частині розглянуті загальні теоретичні питання дисципліни і особливу увагу приділено розмірним зв'язкам та методам їх розрахунку, теорії базування заготовок та деталей, теорії точності.

У другій частині докладно розглянуті методики та етапи проектування технологічних процесів складання машин та одиничних і уніфікованих процесів механічної обробки деталей. Тут особливу увагу приділену розмірному аналізу конструкції машини та розмірному аналізу технологічних процесів. На відміну від існуючих посібників, які розглядають тільки питання аналізу лінійних розмірів, в даному підручнику розроблений комплексний аналіз, тобто по діаметральних розмірах, відносному положенню тіл обертання та корпусних деталях.

У третій частині розглянуті технологічні процеси складання типових вузлів машин та обробки типових деталей. Матеріал цієї частини повністю базується на матеріалі перших двох.

Завдяки системному викладенню матеріалу підручника у студента повинні сформуватись навички науково-технічного мислення, творчого застосування одержаних знань в майбутній інженерній діяльності.

Компонування навчального матеріалу по темах відповідає графіку навчального процесу, а його обсяг і зміст повністю відповідає курсу "Технологія машинобудування".

Підручник розрахований на студентів напрямку "Інженера механіка" спеціальності "Технологія машинобудування", "Металорізальні верстати та системи". Він може бути також корисним і при підготовці інших технічних спеціальностей вищих навчальних закладів II – IV рівнів акредитації, а також фахівцям машинобудівної промисловості.

Вступ

Технологія машинобудування як наука

Бурхливий розвиток машинобудівного виробництва у 30-і роки викликав появу нової технічної науки, яка у подальшому одержала назву “Технологія машинобудування”.

Технологія машинобудування – це наука про виготовлення машин потрібної якості у встановленій виробничою програмою кількості і в заданий термін при найменших витратах живої та уречевленої праці, тобто при найменшій собівартості.

Етапи розвитку технології машинобудування

Технологія машинобудування як наука пройшла у своєму розвитку через декілька етапів.

ПЕРШИЙ ЕТАП (до 1929 – 1930 рр.) характеризується накопиченням вітчизняного та зарубіжного виробничого досвіду виготовлення машин. У вітчизняних та зарубіжних технічних журналах, каталогах та брошурах публікуються описи процесів обробки різних деталей, застосованого обладнання та інструментів. Видаються перші керівні та нормативні матеріали відомчих проектних організацій держави.

ДРУГИЙ ЕТАП (1930–1941 рр.) визначається продовженням накопичення виробничого досвіду з проведенням його узагальнення, систематизації та початком розробки загальних наукових принципів побудови технологічних процесів.

На цьому етапі відбувалось розмежування технології машинобудування із суміжними дисциплінами. З’явилися самостійні дисципліни: металорізальні верстати, різальний інструмент, вчення про різання металів, організація виробництва, допуски і технічні вимірювання, технологія машинобудування. На відміну від інших дисциплін, в центрі уваги курсу “Технології машинобудування” знаходяться оброблювана деталь.

До цього часу необхідно віднести початок формування технології машинобудування як науки у зв’язку з опублікуванням у 1933 – 1935 рр. перших систематизованих наукових праць професорів: Соколовського А.П. “Типізація технологічних процесів”, Каширина А.І. “Основи проектування технологічних процесів”, Кована В.М. “Технологія автотракторобудування”, Яхина А.Б. “Теоретичні основи технології машинобудування”, Балакшина Б.С. “Теорія розмірних ланцюгів”.

На цьому етапі:

- розробляються принципи типізації технологічних процесів (Соколовський, Красильщиков, Дем’янюк та ін.) і здійснюється їх практичне впровадження;
- починається розробка теорії базування заготовок при їх обробці,

вимірюванні та складанні (Соколовський, Знаменский, Каширин, Кован, Яхин та ін.);

- створюються методи розрахунку припусків на обробку (Кован, Соколовський, Балакшин, Каширин та ін.);
- починаються роботи з вивчення жорсткості технічної системи (інж. Вотінов, проф. Соколовський);
- починаються розробки розрахунково-аналітичного методу визначення первинних похибок обробки заготовок (Соколовський, Балакшин, Корсаков, Яхин та ін.) і методів дослідження точності обробки на верстатах із застосуванням математичної статистики та теорії ймовірності (проф. Зиков А.А., Яхин А.Б.).

ТРЕТІЙ ЕТАП (1941–1970 рр.) відрізняється виключно інтенсивним розвитком технології машинобудування, розробкою нових технологічних ідей і формуванням основ технологічної науки.

В ці роки:

– формується сучасна теорія точності обробки заготовок і докладно розробляється розрахунково-аналітичний метод визначення первинних похибок обробки та їх підсумовування (проф. Соколовський, Балакшин, Кован, Корсаков, Яхин та ін.);

– розвиваються і широко використовуються методи математичної статистики і теорії ймовірності для аналізу точності процесів механічної обробки та складання, роботи обладнання та інструмента (проф. Бородачев, Яхин та ін.), аналізу мікрорельєфу оброблюваної поверхні і абразивного інструменту (проф. І.В. Лунін, Барковський, Ю.В. Линник та ін.);

– докладно розробляється учення про жорсткість технологічної системи та її вплив на точність і продуктивність обробки (проф. Балакшин, Соколовський, Скраган та ін.) та широко впроваджуються методи розрахунків жорсткості в конструкторські та технологічні розрахунки в багатьох проектних організаціях та науково-дослідних інститутах;

– продовжується розробка теорії базування оброблюваних заготовок та складання вузлів (проф. Балакшин, Каширин, Кован, Корсаков, Колесов, Маталин, Соколовський та ін.);

– широко проводяться теоретичні та експериментальні дослідження якості оброблюваної поверхні (шорсткості, наклепу, залишкових напружень) та їх вплив на важливіші експлуатаційні властивості деталей машин (проф. Дьяченко, Грозин, Исаєв, Каширин, Костецький, Кравченко, Крагельский, Кудрявцев, Маталин і багато інших);

– формується новий науковий напрямок – вчення про технологічну спадковість (проф. Дальский, Маталин, Ящерицин);

– починаються роботи з вивчення впливу динаміки технологічної системи на точність механічної обробки, шорсткості та хвилястості оброблених поверхонь (проф. І.С. Амосов, Каширин, Кудінов, Соколовський);

– починається розробка проблеми організації потокових і автоматизованих технологічних процесів обробки заготовок в серійному виробництві (Митрофанов С.П., Бойцов В.В., Демьянюк та ін.);

– докладно розробляється побудова структур технологічних операцій (Кован, Корсаков, Чарнко);

– створюються системи адаптивного керування технологічними процесами (Балакшин, Базров, Соломенцев, Худобин та ін);

– систематизуються та узагальнюються матеріали з технології складання і розробляються її наукові основи (проф. Корсаков, Новиков).

ЧЕТВЕРТИЙ ЕТАП починається з 1970 р.

Відмінною особливістю сучасного етапу розвитку технології машинобудування є широке використання досягнень фундаментальних та загально-інженерних наук для розв'язання теоретичних проблем і практичних завдань технології машинобудування. Різні розділи математичних наук, теоретичної механіки, фізики, хімії, теорії пластичності, матеріалознавства, кристалографії та багатьох інших наук приймаються за теоретичну основу нових напрямків технології машинобудування або використовуються як апарат для розв'язання практичних технологічних питань, суттєво підвищуючи загальний теоретичний рівень технології машинобудування та її практичні можливості.

Основні напрямки розвитку технології машинобудування наступні:

– застосування обчислювальної техніки при проектуванні технологічних процесів та математичне модулювання процесів механічної обробки;

– здійснюється автоматизація програмування процесів обробки на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК);

– створюються системи автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП) (проф. Горанський, Капустін Н.М, Митрофанов С.П, Цвєтков В.Д.);

– поглиблюється розробка проблеми впливу технології на фізико-хімічний стан металу поверхневого шару оброблюваних заготовок, його дислокаційна побудова, розміри кристалічних блоків і на експлуатаційні властивості та надійність деталей машин (проф. Суліма А.М. та ін.);

– продовжується розробка проблеми технологічної спадковості та зміцнюючої технології;

– розробляються методи оптимізації технологічних процесів за точністю, що досягається, продуктивністю та економічністю виготовлення при забезпеченні високих експлуатаційних якостей і надійності роботи машини (Базров Б.М., Соломенцев Ю.М., Сілін С.С., Корчак С.Н., Худобин Л.В. та ін.);

– створюються системи автоматизованого керування ходом технологічного процесу з його оптимізацією за всіма основними параметрами виготовлення та потрібним експлуатаційним якостям;

– проводяться роботи по створенню гнучких виробничих систем (ГВС) на основі використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), автоматизації міжопераційного транспорту і контролю та роботехніки;

– продовжується удосконалення технологічних процесів виготовлення деталей машин і складання.

Особливості технології машинобудування як навчальної дисципліни

Технологія машинобудування як дисципліна має ряд особливостей, які суттєво відрізняють її від інших спеціальних наук, що викладаються у вищих закладах освіти (ВЗО).

1. Технологія машинобудування є прикладною наукою, яка викликана потребами промисловості "Учение о технологии родилось в цехе и не должно порывать с ним связи" (А.П. Соколовський).

2. Будучи прикладною наукою, технологія машинобудування разом з тим має значну теоретичну основу, яка включає в себе вчення про:

– типізацію технологічних процесів і групову обробку;

– теорію базування;

– жорсткість технологічної системи;

– аналітичні методи визначення точності процесів обробки;

– ймовірнісно-статистичний метод визначення точності обробки;

– вплив механічної обробки на стан металу поверхневого шару заготовок та експлуатаційні властивості деталей машин;

– припуски на обробку;

– шляхи підвищення продуктивності та економічності технологічних процесів;

3. Технологія машинобудування є комплексною інженерною та науковою дисципліною, яка тісно пов'язана і широко використовує розробки багатьох навчальних дисциплін, що вивчаються в технічних ВЗО.

Саме визначення технології машинобудування як науки про виготовлення машин трактує її як синтез:

– технічних проблем (виготовлення машини потрібної якості);

– організації виробництва (у встановленій виробничою програмою кількості);

– планування (у заданий термін);

– економіки машинобудування (при найменшій собівартості).

Деякі важливі розділи цих наук стали органічною частиною технології машинобудування, наприклад: визначення трудомісткості та технічне нормування; зіставлення економічності варіантів технологічних процесів і розрахунки собівартості технологічного оснащення та ін..

Надзвичайно великий зв'язок технології машинобудування існує з такими дисциплінами, як:

– вища математика (для розрахунків точності обробки: теорія ймовірності та математична статистика; для розробки САПР: теорія графів, математична логіка, основи програмування);

– фізика, хімія, матеріалознавство, теорія різання (для визначення якості поверхневого шару);

– теоретична механіка, теорія механізмів та машин (теорія базування);

– деталі машин, опір матеріалів (технічні умови (ТУ), розрахунки на міцність);

– взаємозамінність стандартизація та технічні вимірювання (ВСТВ) (розмірні ланцюги);

– металорізальні верстати та інструменти (вибір технологічного обладнання);

– методи обробки в машинобудуванні.

Розгляд технологічних питань без використання цих наук взагалі неможливий.

Безпосередньо зв’язані з технологією машинобудування:

– економіка та організація виробництва;

– проектування технологічного оснащення;

– проектування механоскладальних цехів.

4. Технологія машинобудування – наймолодша наука. Вона швидко розвивається та поновлюється новими відомостями.

5. Технологія машинобудування розвивається працею вітчизняних вчених, інженерів, новаторів виробництва.

6. Як навчальна дисципліна ВЗО технологія машинобудування обмежується розглядом питань механоскладального виробництва.

7. Технологія машинобудування є основною профілюючою дисципліною однойменної спеціальності, вона суттєво визначає професійний рівень інженера та його здатність до практичного використання досягнень загальнотеоретичних і загальноінженерних наук.

Складові частини технології машинобудування

Курс технології машинобудування складається з трьох основних розділів:

1) теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин;

2) основи проектування технологічних процесів виготовлення машин;

3) технологія та методи обробки типових деталей та складання машин.

Перший розділ є базовим. В ньому викладаються основи досягнення точності та якості деталей і машин, основи теорії розмірних ланцюгів, теорія базування, технологічні вимоги, які висуваються до конструктивного оформлення машин та їх елементів, основні теоретичні положення технології машинобудування, які підводять наукову базу під розробку технологічних процесів і які дають можливість обгрунтованого вибору технологічних методів для конкретних умов.

В другому розділі викладаються основні принципи, методика та етапи проектування технологічних процесів, в третьому – технологічні процеси складання машин і окремих складальних одиниць а також технологія виготовлення типових деталей: станин, рам, корпусів, важелів, вилок, валів, зубчастих коліс та ін.

Основні напрямки розвитку технології машинобудування у сучасний період

Основні напрямки розвитку технології машинобудування у сучасний період наступні:

– упровадження малоопераційних технологічних процесів, процесів безвідходної та маловідходної , ресурсо і енергозберігаючої технологій;

– удосконалення заготівельного виробництва; воно полягає в тому, щоб наблизити конфігурацію вихідних заготовок до конфігурації готових деталей,

підвищити точність виконання вихідних заготовок і тим самим зменшити припуски на обробку і витрати металу;

– удосконалення методів механічної обробки; це, – в першу чергу, заміна однолезового різального інструмента багатолезовим, комбіновані методи обробки, обробка попередньо підігрітих заготовок, застосування надшвидкого різання (4000…2000 м/хв.), застосування високоточної абразивно-алмазно-ельборної обробки важкооброблюваних матеріалів;

– підвищення потужності та продуктивності металорізального обладнання та його автоматизація;

– покращення геометрії та стійкості різального інструменту і поліпшення оброблюваності матеріалу виробу шляхом тимчасової зміни його механічних властивостей (охолодженням чи нагріванням);

– механізація та автоматизація технологічних процесів, застосування адаптивних систем керування технологічними процесами, створення автоматичних ліній, гнучких виробничих систем та ін.;

– застосування САПР.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення “Технологія машинобудування” як науки.
2. Складіть коротку історичну довідку про розвиток науки “Технологія машинобудування”.
3. В чому полягають особливості науки “Технології машинобудування”?
4. Дайте коротку характеристику складових частин “Технології машинобудування”.
5. Зазначте основні напрямки розвитку технології машинобудування у сучасний період.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.–М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

2. Руденко П.А. Теоретические основы технологии машиностроения: Конспект лекций. – Чернигов, 1986. – 258 с.

ЧАСТИНА І

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН

Методичні рекомендації студентам і викладачам по опрацюванню матеріалу частини І підручника "Технологія машинобудування"

Основою успішного засвоєння даного матеріалу є попереднє вивчення наступних дисциплін: технологія конструктивних матеріалів; теоретична механіка; теорія механізмів і машин; взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання; теорія різання та теплові процеси в технологічній системі.

Перша частина складається з десяти тем і представляє собою систематичне викладання теоретичних основ технології виготовлення деталей та складання машин.

Теоретичні положення підручника повинні обов'язково підтверджуватись практикою, яка повинна складатись з розв'язання практичних задач в аудиторії під контролем викладача, самостійної роботи при виконанні індивідуальних завдань і з виконання лабораторних робіт.

Практичні заняття проводяться з групою студентів у спеціально обладнаному кабінеті технології машинобудування.

Матеріальне оснащення кабінету: комплект робочих креслень деталей; комплект реальних деталей.

Методичне забезпечення кабінету: методичні вказівки до виконання практичних занять; методичні вказівки і завдання для індивідуальної роботи з дисципліни "Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин"; настінні методичні стенди; підручники, навчальні посібники та довідники згідно зі списком рекомендованої літератури до кожного практичного заняття.

Кожне практичне заняття відпрацьовується студентом самостійно за індивідуальним завданням.

Рекомендований зміст практичних занять може бути наступним:

1. Формулювання службового призначення різних машин, складальних одиниць і деталей.
2. Визначення виконавчих, основних і допоміжних поверхонь у деталей різних класів.
3. Складові частини і структура технологічного процесу.
4. Виявлення технічних вимог на параметри точності різних деталей.
5. Формулювання задач і розробка теоретичних схем базування деталей різних класів.
6. Вибір баз для першої операції для деталей різних класів.
7. Перерахунок розмірних ланцюгів при зміні баз.
8. Визначення похибок базування для різних деталей і різних схем їх

встановлення.

9. Визначення сумарної похибки обробки розрахунково-аналітичним методом.

10. Визначення налагоджувальних розмірів.

11. Технологічне нормування окремих операцій аналітичним та дослідно-статистичним методами.

Призначенням індивідуальних завдань є закріплення теоретичних знань з "Технології машинобудування" і прищеплення навичок самостійної роботи з навчальною та довідковою літературою.

Студенту на початку семестру видається тема індивідуального завдання і перелік задач і питань, які протягом вивчення дисципліни повинні бути виконані.

Вихідними даними для виконання завдань є:

– креслення заготовки і креслення деталі типу тіла обертання, операційний технологічний процес обробки цієї деталі;

– креслення заготовки і креслення деталі типу корпус, операційний технологічний процес її обробки.

За деталі типу тіла обертання бажано вибирати багатоступінчасті вали і втулки, які обробляються за можливістю найбільшою кількістю методів (точіння, розточування, фрезерування, свердління, нарізання нарізок тощо). Ці ж рекомендації враховуються і при виборі корпусної деталі.

Деталі повинні бути середньої складності. Формат креслення не повинен перевищувати формат А1 (594х841). Кількість аркушів креслення не – більше одного. На деталях обов'язково повинні бути точні поверхні 7…8 квалітетів з шорсткістю Ra 0,8…1,6 і точним взаємним розташуванням із вказанням відхилень від перпендикулярності, паралельності, співвісності. Всі завдання виконуються на стандартних аркушах паперу з дотриманням вимог стандарту на текстові документи (ГОСТ 2.105-95).

В кінці семестру індивідуальна робота захищається. Захист роботи полягає у розв'язанні всіх поставлених питань і в співбесіді по них з викладачем.

Приклад індивідуального завдання за темою: **"Аналіз технологічного процесу обробки деталі типу тіла обертання та корпусної деталі"**

Таблиця 1

Теми лекційного курсу	Зміст питань завдання
1	2
Загальні поняття та визначення	1. Сформулювати службове призначення деталей. 2. Виділити операції, установи, позиції, технологічні переходи та робочі ходи.
Якість виробів, способи її визначення та оцінки	3. Виявити технічні вимоги до заданих деталей та інші параметри точності розмірів і поворотів поверхонь за кресленням і на кожній операції. Виявити параметри шорсткості поверхонь. 4. Визначити методи досягнення точності розмірів на кожній операції. 5. Визначити методи контролю точності розмірів.

	6. Визначити орієнтовно закони розподілу розмірів при обробці деталей на фінішних операціях.
Основи базування деталей та заготовок	7. Виявити види баз при різних схемах встановлення заготовок. 8. Розробити теоретичні схеми базування заготовок для всіх операцій. 9. Здійснити перехід від конструкторських до технологічних розмірних ланцюгів на операціях, де не виконується “принцип суміщення баз”, зробити необхідні висновки. 10. Виявити похибки базування на кожній операції.
Методи дослідження та розрахунку точності механічної обробки і методи настроювання технологічних систем	11. Визначити похибки встановлення заготовок по операціях технологічного процесу. 12. Навести приклади впливу неточностей верстатів на точність обробки заданих деталей. 13. Визначити похибки від спрацювання різальних інструментів на чорнових операціях обробки заданих деталей. 14. Визначити похибки налагодження верстатів на фінішних операціях обробки заданих деталей.
Методи дослідження та розрахунку точності механічної обробки і методи настроювання технологічних систем	15. Визначити похибки від пружних деформацій технологічної системи на чорнових операціях обробки заданих деталей. 16. Визначити, чи впливають на точність обробки заданих деталей температурні деформації. Відповіді обгрунтувати. 17. Визначити сумарну похибку обробки для окремих операцій: чорнової та чистової обробки.

Закінчення табл. 1

1	2
Якість поверхонь деталей і заготовок	18. Які параметри якості поверхонь реалізовано в заданих технологічних процесах? Вказати їх величини. 19. Які експлуатаційні характеристики досягаються в результаті обробки деталей? 20. Вказати операції, на яких безпосередньо формуються експлуатаційні характеристики деталей. 21. Виявити, чи є порушення зв'язку точності та шорсткості на кресленнях і в технологічних процесах.
Припуски	22. Аналітичним методом перевірити припуски, що закладені на обробку основних поверхонь деталей.
Продуктивність та економічність технологічних процесів	23. Виконати технічне нормування окремих операцій аналітичним та дослідно-статистичним методами. Порівняти одержані результати з наведеними технічними нормами в технологічних процесах. Обгрунтувати різницю, якщо вона є.

Лабораторні роботи повинні підтверджувати основні положення курсу і мати переважно дослідний характер.

Тематику лабораторних робіт можна рекомендувати наступну.

1. Аналіз параметрів якості обробки заготовок за допомогою методів математичної статистики.
2. Визначення похибок, що виникають внаслідок геометричної неточності верстатів.
3. Визначення похибок обробки, пов'язаних зі встановленням заготовки та точністю пристроїв.
4. Визначення похибок обробки, обумовлених розмірним зношуванням інструменту.
5. Визначення похибок обробки від пружних деформацій технологічної системи.
6. Визначення похибок налагодження технологічної системи.
7. Визначення мікротвердості поверхневого шару, глибини та інтенсивності зміцнення.
8. Визначення параметрів шорсткості поверхні Ra, Rz.

Структура методичних вказівок щодо виконання кожної лабораторної роботи може бути такою: мета роботи; обладнання та оснащення; стислі теоретичні відомості; зміст роботи; порядок виконання роботи; зміст звіту; використана література.

Тема 1. Загальні поняття та визначення технології машинобудування

1.1. Машина як об'єкт виробництва

Об'єктами виробництва машинобудівної промисловості є різні машини.

Машина – це механізм або поєднання механізмів, що здійснюють доцільні рухи для перетворення енергії або виконання робіт.

В залежності від основного призначення розрізняють два класи машин: машини-двигуни, за допомогою яких один вид енергії перетворюється в інший, зручний для використання, і робочі машини (машини-знаряддя), за допомогою яких змінюються форма, властивості та положення об'єкта праці.

Інше визначення машини:

Машина – неживий перетворювач продукту в корисну для людини продукцію.

Будь-яка машина створюється для здійснення технологічного процесу з метою задоволення тієї чи іншої потреби людини. Потреби людського суспільства є головним стимулом у створенні машини.

Машини, механізми і устаткування, їх агрегати чи деталі в процесі виробництва їх на машинобудівному підприємстві є виробами, тобто *виріб* – це продукт кінцевої стадії виробництва, або це – набір (чи предмет) виробництва, що належить виготовленню на підприємстві.

Вироби в залежності від призначення поділяються на вироби основного і допоміжного виробництва. До виробів основного виробництва відносять вироби, які призначені для реалізації, а до виробів допоміжного виробництва – вироби, які призначені тільки для власних потреб підприємства, що їх виготовляє.

Згідно зі стандартом встановлені наступні виробів.

Деталь – це виріб, виготовлений з однорідного за найменуванням і маркою матеріалу без використання складальних операцій.

У кожній деталі, що бере участь в складанні, є сполучувані та несполучувані поверхні. Перші при складанні стикаються з поверхнями інших деталей, створюючи відповідні з'єднання. При цьому різні з'єднувані поверхні можуть мати різне призначення. Одні з них служать для приєднання даної деталі до інших деталей (наприклад, нижня площина передньої бабки токарного верстата сполучається з відповідною поверхнею станини і визначає цим положення передньої бабки відносно станини; шийки шпинделя верстата, сполучаючись з отворами вкладишів підшипників, визначають положення шпинделя верстата; хвостовик турбінної лопатки, сполучаючись з відповідними пазами ротора, задає конкретне положення турбінній лопатці тощо). Такі поверхні називають *основними базами*.

Інші сполучувані поверхні служать для приєднання до даної деталі інших деталей складального з'єднання і називаються *допоміжними базами*. Наприклад, поверхня станини, на яку обпирається основна база передньої бабки верстата – її нижня площина, є допоміжною базою станини; отвір вкладиша підшипника, в якому встановлюються шпиндель верстата, є допоміжною базою вкладиша тощо.

Таким чином, при складанні з'єднань основні бази однієї деталі опираються на допоміжні бази іншої.

Сполучувані поверхні, що мають виконувати деякі робочі функції (поверхня шківа, що стикається з приводним ременем; поверхня нарізки у гвинтових механізмах; робоча поверхня турбінної лопатки, що стикається з робочим паром або газовою сумішшю тощо) називаються *функціональними* (або виконавчими чи робочими).

Виконавчі поверхні деталі можуть бути і несполучуваними (наприклад, віддзеркалююча поверхня дзеркала тощо). Решта поверхонь деталі є несполучуваними (*вільними*) і служать лише для оформлення потрібної конфігурації деталі. Вони часто не обробляються або обробляються зі зниженою точністю.

Базові деталі – це деталі з базовими поверхнями, які виконують у складальному з'єднанні (вузлі) роль з'єднуючої ланки, що забезпечує при складанні відповідне положення інших деталей.

Базовий вузол виконує ту ж функцію, що і базова деталь, але це стосується, як правило, загального складання.

Складальна одиниця (вузол) – це частина виробу, яка складається окремо і в подальшому бере участь в процесі складання як одне ціле.

Складальні одиниці (вузли), які в процесі загального складання безпосередньо входять у виріб, називаються *складальними одиницями першого порядку*. Складальні одиниці, що входять в складальну одиницю першого порядку, називаються *складальними одиницями другого порядку* і т.д.

Окремі деталі (наприклад, кріпильні) можуть входити в складальні одиниці будь-якого порядку або безпосередньо у виріб, що складається.

Складений виріб може розглядатись як складальна одиниця нульового порядку (рис. 1.1).

Складальний комплект – це група складових частин виробу, які необхідно подати на робоче місце для складання виробу чи його складової частини.

Об'єктами виробництва машинобудівних підприємств можуть бути комплекси і комплекти виробів, крім окремих машин та їх частин.

Комплекс – це два і більше спеціфіцированих вироби, не з'єднаних на підприємстві-виробнику складальними операціями, але призначених для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій, наприклад, автоматична лінія, цех-автомат, верстат з ЧПК з керуючими панелями тощо.

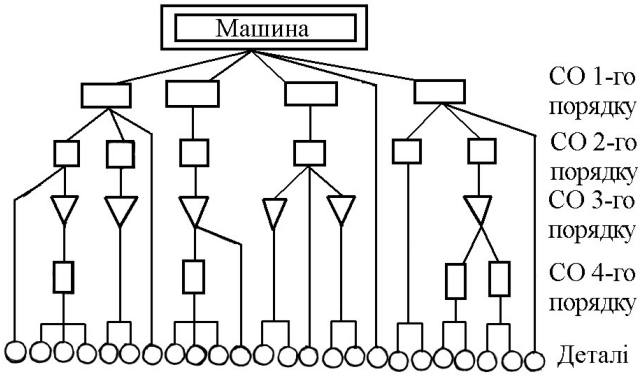


Рис. 1.1. Схема складальних елементів машин

Комплект – це два і більше виробів які не з'єднані на підприємстві-виробнику складальними операціями і представляють собою набір виробів, що мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру, наприклад, комплект запасних частин, інструмента та приналежностей, вимірювальної апаратури, упаковочної тари тощо.

Комплектуючі вироби – це виріб підприємства-постачальника, який застосовується як складова частина виробу, що випускається підприємством-виробником.

Для побудови ефективного технологічного процесу складання необхідно розчленувати виріб на ряд складальних одиниць і деталей. Таке розчленування проводиться на стадіях конструкторської підготовки виробництва при розробці конструкції виробу. При цьому складові частини (складальні одиниці) можуть бути спроектовані із врахуванням конструктивних або технологічних вимог. У відповідності з цими вимогами розрізняють конструктивні складальні одиниці та технологічні складальні одиниці чи вузли.

Конструктивна складальна одиниця – це одиниця, що спроектована лише за функціональним принципом без врахування особливого значення умов незалежного і самостійного складання. Прикладами таких складальних одиниць можуть бути механізми газорозподілу, системи паливопроводів і мастилопроводів двигуна тощо.

Технологічна складальна одиниця чи вузол – це складальна одиниця, яка може складатись окремо від інших складових частин виробу і виконувати певну функцію у виробах одного призначення тільки разом з іншими складовими частинами.

Найкращим варіантом конструкції є складальна одиниця, яка відповідає умові функціонального призначення її у виробі і умові самостійного незалежного складання. Це, – так звана, *конструктивно-технологічна складальна одиниця*. До таких одиниць можна віднести насоси, клапани, вентилі, коробки швидкостей, коробки передач та ін.

Принцип конструювання виробів з таких одиниць називається агрегатним чи блоковим. З конструктивно-технологічних складальних одиниць формуються агрегати.

Агрегат – це складальна одиниця, якій притаманні наступні властивості: повна

взаємозамінність; можливість складання окремо від інших складових частин виробу; здатність виконувати певну функцію у виробі або самостійно.

Складання виробів з агрегатів називається агрегатним або модульним. Виріб, спроектований за агрегатним принципом, без сумніву, має кращі техніко-економічні показники як у виготовленні, так і в експлуатації та ремонті, цикл складання значно скорочується.

Переваги модульного конструювання машин наступні: підвищується якість складання за рахунок того, що кожна складальна одиниця після її складання може бути випробувана за своїми функціональними параметрами незалежно від інших складальних одиниць; значно покращуються умови експлуатації такого виробу, особливо при заміні окремих складових частин; агрегатна конструкція дозволяє ремонтувати кожну складову частину окремо, виходячи з її стану. При цьому зменшується кількість виробів, що знаходяться у резерві.

Кожна складальна одиниця включає в себе певні види з'єднання деталей.

За можливістю відносного переміщення складових частин з'єднання поділяються на *рухомі та нерухомі.*

За збереженням цілостності при складанні з'єднання поділяють на *рознімні та нерознімні.* З'єднання вважається рознімним, якщо при його розкладанні зберігається цілісність його складових частин, і нерознімним, якщо при його розкладанні складові частини пошкоджуються і їх цілісність порушується.

При цьому з'єднання можуть бути: нерухомими рознімними (нарізні, пазові, конічні); нерухомі нерознімні (з'єднання запресуванням, розвальцюванням, клепанням); рухомими рознімними (підшипники ковзання, плунжери-втулки, зубці зубчастих коліс, каретки-станини); рухомими нерознімними (підшипники кочення, запірні клапани).

Кількість рознімних з'єднань у сучасних машинах і механізмах складає 65–85 %.

За формою сполучуваних поверхонь з'єднання поділяються на циліндричні (до 35–40 % всіх з'єднань), плоскі (15–20 %), комбіновані (15–25 %), конічні (6–7 %), сферичні (2–3 %), гвинтові та профільні.

За методом створення з'єднань вони поділяються на нарізні, клинові, штифтові, шпонкові, шліцьові, зварні, паяні, клепані, фланцеві, пресові, фальцювальні (з'єднання, що отримані із застосуванням спільного загинання їх країв), розвальцьовані, комбіновані тощо.

1.2. Службове призначення машини

Машина може бути дійсно корисна людям тільки тоді, коли вона може задовольняти людей. Ступінь корисності машини визначається її відповідністю своєму службовому призначенню.

Службове призначення машини – максимально уточнене й чітко сформульоване завдання, для вирішення якого призначена машина.

Формулювання службового призначення машини повинно містити не тільки загальне завдання, наприклад, токарний верстат для обробки тіл обертання, а й усі додаткові умови і вимоги, які це завдання максимально уточнюють і конкретизують, наприклад, вичерпні дані про продукцію, яка вироблятиметься: вид, розміри, кількість, якість, режим виготовлення продукції; економічність, надійність, довговічність

продукції; перелік умов, за яких на машині передбачено випускати продукцію; якість вихідного продукту, використання енергії, режим роботи, стан навколишнього середовища тощо.

Таким чином, службове призначення машини повинно складатись з двох частин: загальної частини і уточнень. Уточнення обов'язково необхідно виразити кількісно з допустимими відхиленнями.

Приклад службового призначення машини

Токарний гідрокопіювальний напівавтомат призначається для обробки ступінчастих валів з циліндричними шийками, а також фасонного профілю діаметром до 120 мм, довжиною до 500 мм. Вихідні заготовки – прокат і поковки. Точність обробки за діаметральними розмірами – 0,1 мм, за лінійними – 0,4 мм. Верстат передбачений для малосерійного і одиничного виробництва, забезпечений пристроєм для переналагодження його з обробки однієї деталі на іншу за 1–2 хв, а також широким діапазоном режимів обробки: $n_{шп}$ = 81…2040 об/хв; робочі подачі копіювального супорта $S_к$ = 20…700 мм/хв, підрізного супорта $S_п$ = 15…400 мм/хв та ін.

1.3. Технічна підготовка машинобудівного виробництва

Раціональна організація процесу виготовлення машини неможлива без проведення ретельної технічної підготовки її виробництва.

Технічна підготовка виробництва включає в себе:

1. Конструкторську підготовку виробництва.
2. Технологічну підготовку виробництва.
3. Організаційно-економічну підготовку виробництва.

Конструкторська підготовка виробництва включає проведення таких робіт:

– розробка конструкції виробу, машин, що належать виготовленню;

– розробка креслень загальних видів та складальних одиниць;

– розробка креслень деталей;

– оформлення відповідних специфікацій та інших видів конструкторської документації, регламентованих відповідними стандартами ЄСКД.

Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) – сукупність взаємозв'язаних процесів, які забезпечують технологічну готовність підприємства до випуску виробів заданого рівня якості при встановлених строках, обсягах випуску та витратах.

Технологічна підготовка виробництва включає проведення таких робіт:

– забезпечення технологічності конструкції виробу;

– розробку технологічних процесів виготовлення заготовок, деталей, складання та контролю;

– проектування та виготовлення засобів технологічного забезпечення (технологічного оснащення);

– керування процесом ТПВ.

Порядок виконання і обсяг робіт ТПВ регламентується комплексом стандартів ЄСТПВ.

Організаційно-економічна підготовка виробництва включає проведення таких

робіт:

– календарне планування виробничого процесу;

– розрахунок та забезпечення потреби в матеріалах, інструменті, комплектуючих виробах;

– розрахунок затрат на виробництво;

– вибір найбільш оптимальних варіантів технологічних процесів.

Надто відповідальною та трудомісткою частиною технічної підготовки виробництва є ТПВ, трудомісткість якої складає (у % до загальної трудомісткості технічної підготовки) в умовах дрібносерійного виробництва 30–40 %, серійного – 40–50 % , масового – 50–60 % .

Зростання трудомісткості проектування технологічних процесів зі збільшенням випуску продукції пояснюється тим, що у великосерійному і масовому виробництвах розробка технологічних процесів здійснюється більш ретельно, ніж в серійному (збільшується за обсягом документація, ускладнюється технологічне оснащення).

Трудомісткість технологічного проектування в більшості випадків перевищує трудомісткість конструювання машин (див. приклад, рис. 1.2).

Найменування виробу	Трудомісткість	
	конструювання	проектування техпроцесів і оснащення
Гусеничний трактор С-80	1	496
Екскаватор СЭ-3	1	1,83
Кран мостовий	1	4,20

Рис. 1.2. Трудомісткість конструкторської та технологічної підготовки виробництва у відносних одиницях

1.4. Виробничий та технологічний процеси

Згідно зі стандартом сукупність усіх дій людей, а також знарядь виробництва, необхідних на даному підприємстві для виготовлення чи ремонту виробів, які випускаються, називається *виробничим процесом*. При його протіканні матеріали і напівфабрикати перетворюються на готову продукцію, що відповідає своєму службовому призначенню.

Виробничий процес охоплює:

– підготовку засобів виробництва і обслуговування робочих місць;

– отримання та зберігання матеріалів і напівфабрикатів;

– всі стадії виготовлення деталей машин;

– транспортування матеріалів, заготовок, складових частин і готових виробів;

– технічний контроль, випробовування і атестацію продукції на всіх стадіях виробництва;

– розкладання складальних одиниць (при потребі);

– виготовлення тари, упаковування готової продукції та інші дії, пов’язані з виготовленням виробів, які випускаються.

Технологічний процес – це частина виробничого процесу, яка включає в себе дії, спрямовані на послідовну зміну розмірів, форми, зовнішнього вигляду чи внутрішніх властивостей предмета виробництва та їх контроль.

1.5. Складові частини і структура технологічних процесів

Технологічні процеси складаються з окремих частин, операцій, установ, переходів і ходів. На рис. 1.3 наведено приклад структури технологічних процесів в машино- і приладобудуванні. Частини технологічних процесів відрізняються між собою методами виконання. Внаслідок принципової важливості термінології, що використовується при проектуванні технологічних процесів, нижче наведені визначення їх частин згідно зі стандартом.

Лиття – формоутворення заготовки або виробу з рідинного матеріалу заповненням ним порожнини заданої форми і розмірів з наступним затвердінням.

Формування – формоутворення заготовки або виробу з порошкоподібного або волокнистого матеріалу заповненням ним порожнини заданої форми і розмірів з наступним стисканням.

Гальванопластика – формоутворення заготовки або виробу з рідинного металу з розчину під дією електричного струму.

Обробка різанням – зміна форми, розмірів, шорсткості поверхні та властивостей заготовки деформуванням, відокремленням поверхневих шарів матеріалу і утворенням стружки. Прикладами обробки різанням є точіння, фрезерування, свердління.

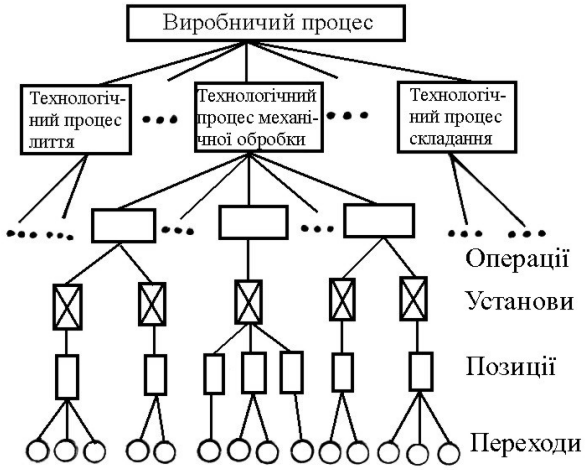


Рис. 1.3. Структурна схема технологічного процесу

Обробка тиском – зміна форми, розмірів, шорсткості та властивостей заготовки пластичним деформуванням або розділом матеріалу заготовки без утворення стружки. Прикладами такої обробки є кування, штампування, накатування, обкатування.

Термічна і хіміко-термічна обробка полягає у зміні структури і властивостей матеріалу заготовки внаслідок теплових і дифузійних впливів. Прикладами цих видів обробки є гартування, відпуск, відпал, нормалізація, покращення, цементація,

азотування. До термічної обробки умовно належить також старіння.

Електрофізична обробка полягає у зміні форми, розмірів і шорсткості поверхні заготовки використанням електричних розрядів, магнітострикційного ефекту, електронного або світлового випромінювання, плазмового струму.

Електрохімічна обробка – зміна форми, розмірів і шорсткості поверхні заготовки внаслідок розчинення її матеріалу в електроліті під дією електричного струму.

Нанесення покриття – утворення на заготовці поверхневого шару із заданого чужорідного матеріалу (фарбування, анодування, оксидування, металізація тощо).

Складання – утворення роз'ємних або нероз'ємних з'єднань складових частин заготовки або виробу (нагвинчування, зварювання, паяння, клепання, склеювання та ін.).

Зварювання – утворення нероз'ємних з'єднань міжатомними зв'язками між окремими частинами при їх місцевому або загальному нагріванні чи пластичному деформуванні або їх сумісній дії.

Паяння – утворення нероз'ємних з'єднань введенням розплавленого припою в зазорі між частинами, що з'єднуються, з наступним його охолодженням і затвердінням.

Клепання – утворення нероз'ємних з'єднань за допомогою заклепок.

Вузлове складання – складання окремих частин виробу.

Загальне складання – складання виробу в цілому.

Контроль якості продукції – перевірка відповідності показників якості продукції встановленим вимогам.

Ремонт – комплекс робіт, направлений на підтримку і відновлення працездатності виробу.

Переміщення – дія, що викликає зміну координат предмета праці.

Частина технологічного процесу – це операція, установ, позиція, перехід, хід, прийом.

Операцією називається закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці, над однією деталлю або сукупністю декількох одночасно оброблюваних деталей одним робітником або групою робітників без розриву в часі. В операцію входять не лише роботи, пов'язані зі зміною форми чи розмірів деталі, а й дії, пов'язані з обслуговуванням верстата, пристрою та інструмента.

Установом називається частина операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваної деталі або складальної одиниці (рис. 1.4). Він може включати одну або більше позицій.

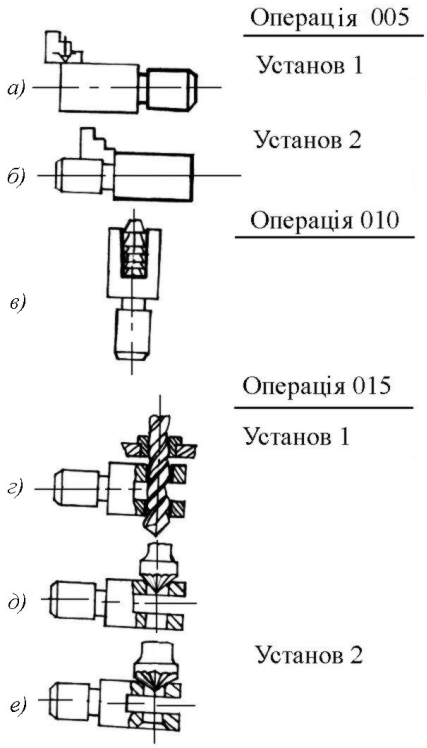


Рис. 1.4. Схема технологічного процесу обробки вилки

Позиція – це фіксоване положення, яке займає незмінно закріплена оброблювана заготовка або складальна одиниця разом з пристроєм відносно інструмента або нерухомої частини обладнання для виконання операції або її частини. Зміна положення деталі відносно верстата при незмінному закріпленні її може відбуватися за рахунок поворотних елементів пристрою або стола верстата (рис. 1.5).

Кожна позиція, установ або операція може мати різну кількість переходів.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, що характеризується постійністю використовування інструмента і поверхонь, утворюваних обробкою або з'єднуваних при складанні та супроводжуваних відповідно зміною розмірів, форми, шорсткості та взаємного розташування поверхонь, або відносного розташування з'єднуваних деталей (рис. 1.4, *а–в*, *д*).

Допоміжний перехід – це закінчена частина технологічної операції, яка складається із дій людини і (або) обладнання, які не супроводжуються зміною розмірів, шорсткості та взаємного розташування поверхонь, або відносного розташування з'єднуваних деталей, але необхідні для виконання технологічного переходу, наприклад, встановлення заготовки, зміна інструмента тощо.

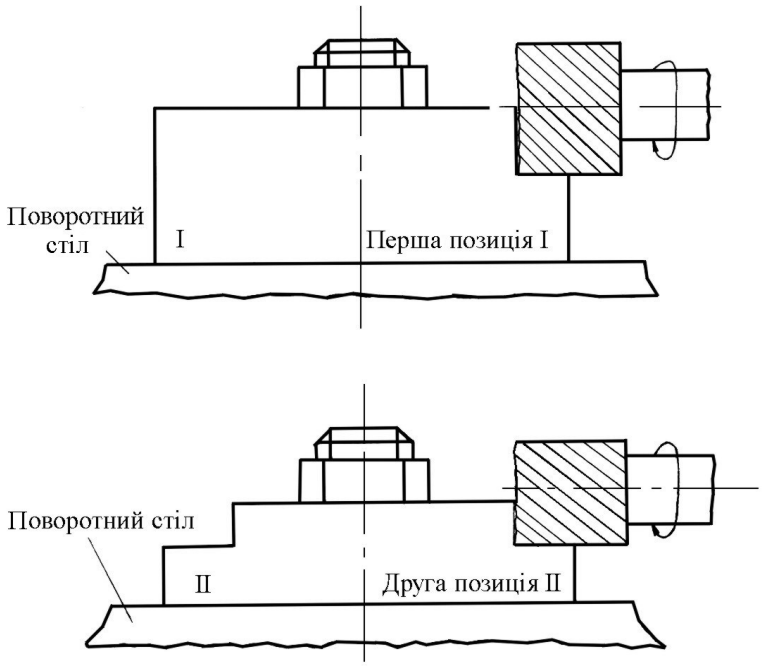


Рис. 1.5. Схема фрезерування плити за дві позиції

Робочий хід – це закінчена частина технологічного переходу, яка складається із одноразового переміщення інструмента відносно заготовки і супроводжуваного зміною форми, розмірів, шорсткості та взаємного розташування поверхонь, або відносного розташування з'єднуваних деталей.

Допоміжний хід – це закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструмента відносно заготовки, яка не супроводжується зміною розмірів, шорсткості або відносного розташування поверхонь чи властивостей заготовки, але необхідна для виконання робочого ходу.

Робочий прийом – це закінчена дія робітника, яка має цільове призначення і необхідна для виконання даної операції.

Елементом прийому або рухом називається найменша частина технологічного процесу, яка піддається спостереженню за допомогою кінознімання. Метою її є визначення рухів і на базі цього раціоналізація їх, а також точне встановлення тривалості прийомів при нормуванні робіт у великосерійному і масовому виробництві.

Структурна схема технологічного процесу механічної обробки та складання показана на рис. 1.3.

При розробці технологічної документації операціям і переходам присвоюються відповідні номери.

Операції нумеруються у зростаючому порядку і позначаються арабськими цифрами в межах технологічного процесу на кожну деталь, а переходи нумеруються арабськими цифрами для кожної операції самостійно, починаючи з першого номера.

Установи (якщо їх більше одного) позначаються буквами українського алфавіту для кожної операції самостійно, починаючи з першої букви. Робочі ходи ніякими знаками в технологічній документації не позначаються, але вказується їх кількість для кожної операції.

1.6. Просторові та часові умови виконання технологічних процесів

Технологічний процес виконується у просторі та часі.

Площа, яка необхідна для виконання технологічного процесу, називається *виробничою площею.*

Кожна операція технологічного процесу виконується на окремому робочому місці.

Під *атестованим робочим місцем* розуміють частину виробничої площі, обладнаної відповідно до виконуваної на ній роботі і яка задовольняє вимогам енергономіки, охорони праці та техніки безпеки.

Календарний період від початку до кінця виконання виробничого або технологічного процесу чи частини технологічного процесу, який *повторюється,* називається *циклом.*

Розрізняють цикл операції, цикл виготовлення деталі, цикл виготовлення машини.

Кількість машин, їх деталей або заготовок, які належать виготовленню в одиницю часу (звичайно за рік, квартал, місяць), називають *програмою.*

Загальна кількість машин, їх деталей чи заготовок, які належать виготовленню за незмінюваними кресленнями, називають *величиною серії.*

Масштаб випуску характеризує приблизну кількість машин, деталей чи заготовок, які належать випуску заводом чи яким-небудь його цехом за одиницю часу (рік, квартал, місяць).

Такт випуску – представляє собою проміжок часу, через який періодично випускаються машини, їх складальні одиниці, деталі чи заготовки. Якщо кажуть, що машина випускається з тактом 15 хвилин, то це означає, що через кожні 15 хвилин завод випускає одну машину.

Партією прийнято називати групу заготовок (деталей), які одночасно поступають для обробки на одне робоче місце. Кількість заготовок (деталей) в партії визначається на основі техніко-економічного розрахунку.

1.7. Поняття про трудомісткість, верстатомісткість, норму часу та норму виробітку

Час, який витрачається робітником при нормальній інтенсивності праці на виготовлення того чи іншого технологічного процесу чи його частини, називають *трудомісткістю.* Одиниця вимірювання трудомісткості – людино-година.

Розрізняють *фактичну* трудомісткість, розуміючи під нею час, фактично витрачений робітником на виконання роботи, і розрахункову, чи нормовану трудомісткість, розуміючи під нею час, який повинен бути витраченим на виконання тієї чи іншої роботи.

Верстатомісткістю називають час, протягом якого фактично працює (фактична верстатомісткість) чи повинен працювати (розрахункова верстатомісткість) верстат, декілька верстатів чи інших видів обладнання для виконання окремих або всіх операцій по обробці деталей або цілого виробу. Відповідно з цим розрізняють верстатомісткість операції, верстатомісткість деталі, верстатомісткість виробу. Одиницею вимірювання верстатомісткості є верстато-година.

Для нормування праці та планування виробничого процесу використовують норму часу.

Нормою часу називають встановлену (нормовану) кількість праці належної кваліфікації та нормальної інтенсивності, необхідну для виконання якої-небудь операції чи в цілому технологічного процесу в нормальних виробничих умовах. Норму часу вимірюють в одиницях часу (годинах, хвилинах) із вказанням кваліфікації роботи, наприклад, 2 год 3-го розряду.

Нормою виробітку називають встановлену (нормовану) кількість заготовок, деталей чи виробів, яка повинна бути оброблена чи виготовлена за встановлену одиницю часу (годину, хвилину). Одиницею вимірювання норми виробітку є кількість штук в одиницю часу із вказанням кваліфікації роботи, наприклад, 8 штук за годину робота 4-го розряду.

Норма часу на виконання операції

Норма часу на виконання операції незалежно від типу верстата і методу обробки визначається за формулою:

$$t_{шт} = t_o + t_д + t_{тех} + t_{орг} + t_п,$$

де $t_{шт}$ – штучний час на виконання однієї операції, хв;

t_o – основний (технологічний) час, хв;

$t_д$ – допоміжний час, хв;

$t_{тех}$ – час технічного обслуговування робочого місця, хв;

$t_{орг}$ – час організаційного обслуговування робочого місця, хв;

$t_п$ – час перерв у роботі, хв.

Основний технологічний час визначають за допомогою розрахунків для кожного технологічного переходу:

$$t_o = \frac{Lpi}{S_{хв}},$$

де Lp – розрахункова довжина обробки, мм;

i – число проходів у даному переході;

$S_{хв}$ – подача інструмента, мм/хв.

Допоміжний час для кожного технологічного переходу встановлюється за нормативами.

Суму основного і допоміжного часу називають оперативним часом:

$$t_{оп} = t_о + t_д.$$

Час технічного обслуговування встановлюється у відсотках (до 6 %) від основного або оперативного часу, час організаційного обслуговування – у відсотках (до 8 %) від оперативного часу, а час перерв роботи встановлюється у відсотках (до 2,5 %) від оперативного часу.

У серійному виробництві визначають норму штучно-калькуляційного часу:

$$t_{шт.к} = \frac{t_{п.з}}{n} + t_{шт},$$

де $t_{п.з}$ – підготовчо-заключний час, що дається на партію деталей;

n – розмір партії.

1.8. Типи машинобудівних виробництв

Тип виробництва, як найбільш загальна організаційно-технічна характеристика виробництва, визначається головним чином ступенем спеціалізації робочих місць, номенклатурою об'єктів виробництва, а також формою руху виробів по робочих місцях.

Ступінь спеціалізації робочих місць характеризується *коефіцієнтом закріплення операцій,* під яким розуміють кількість різних операцій, виконуваних на одному робочому місці протягом місяця.

Згідно зі стандартом, коефіцієнт закріплення операцій для групи робочих місць визначається за формулою:

$$K_{з.о} = \frac{O}{P},$$

де О – кількість різних операцій, виконуваних на робочих місцях ділянки або цеху;

Р – кількість робочих місць на ділянці чи в цеху.

За ступенем спеціалізації робочі місця поділяють на групи:

1) робочі місця масового виробництва, спеціалізовані на виконання однієї операції, яка безперервно повторюється;

2) робочі місця серійного виробництва, на яких виконуються декілька різних операцій, які повторюються через певні проміжки часу;

3) робочі місця одиничного виробництва, на яких виконується велика кількість різних операцій, які повторюються через невизначені проміжки часу або зовсім не повторюються.

В залежності від номенклатури та періоду повторення операцій, робочі місця 2-ї групи відносять до велико-, середньо-, і дрібносерійних.

Тип виробництва визначається за групою робочих місць, що переважає. Якщо за робочим місцем, незалежно від його завантаження, закріплена тільки одна операція, то $К_{з.о} = 1$, що відповідає масовому виробництву. Якщо $1 < К_{з.о} < 10$ – виробництво

велико серійне, якщо $10 < К_{з.о} < 20$ – виробництво середньосерійне, якщо $20 < К_{з.о} < 40$ – виробництво дрібносерійне, при $К_{з.о} > 40$ – виробництво одиничне.

Масовий тип виробництва характеризується безперервним виготовленням обмеженої номенклатури виробів на вузькоспеціалізованих робочих місцях.

Серійний тип виробництва характеризується виготовленням обмеженої номенклатури виробів партіями (серіями), які повторюються через певні проміжки часу, на робочих місцях з широкою спеціалізацією та поділяється на велико-, середньо- і дрібносерійний, в залежності від групи робочих місць, яка переважає.

Одиничний тип виробництва відрізняється виготовленням широкої номенклатури виробів в одиничній кількості, які повторюються через невизначені проміжки часу або зовсім не повторюються, на робочих місцях, які не мають певної спеціалізації.

За типом виробництва, який переважає, визначається і тип ділянки, цеху і заводу в цілому.

Технологічні характеристики різних типів виробництва за переважаючими показниками наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технологічні характеристики різних типів виробництва

Характерна ознака	Тип виробництва		
	одиничний	серійний	масовий
1	2	3	4
Повторюваність партій (серій)	Відсутня	Періодична	Безперервний випуск одних і тих же деталей (серій машин)
Технологічне обладнання	Універсальне	Універсальне, частково спеціалізоване і спеціальне	Широке застосування спеціалізованого і спеціального обладнання і автоматичних ліній

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4
Пристрої	Переважно універсальні та тільки іноді спеціальні	Спеціальні переналагоджувані	Спеціальні, часто органічно зв'язані з верстатом
Різальний інструмент	Універсальний	Універсальний і спеціальний	Універсальний, спеціальний і комбінований. Багатоінструментальні налагодження
Вимірювальний інструмент	Універсальний	Калібри, спеціальний вимірювальний інструмент	Калібри, спеціальний багатовимірний інструмент, контрольні прилади
Налагоджування верстатів	Верстати не налагоджені, робота по пробних промірах	Верстати налагоджені	Складне налагоджування, автоматизм
Розміщення технологічного обладнання	За типами верстатів	За ходом технологічних процесів	За ходом технологічних процесів
Види заготовок	Прокат, лиття в земляні форми по дерев'яних моделях, вільне кування	Прокат, відливки по металевих моделях, штамповки	Прокат, машинне лиття по металевих моделях, лиття під тиском та інші точні методи лиття, штамповки, пресування тощо
Застосування розмітки	Широке	Обмежене, тільки для великих і складних деталей	Не застосовується
Методи досягнення точності	Метод індивідуального припасування	Метод повної та неповної (часткової) взаємозамінності	Метод повної та селективної взаємозамінності

Закінчення табл. 1.1

1	2	3	4
Ступінь деталізації технологічних процесів	Простіші технологічні розробки (маршрутні техпроцеси)	Більш детальні технологічні розробки (маршрутно-операційні та операційні техпроцеси)	Детальні технологічні розробки (операційні техпроцеси). Дослідження техпроцесів
Види нормування робіт	Укрупнене нормування	Технічне нормування серійного виробництва	Детальне нормування. Хронометражне дослідження операцій
Кваліфікація робітників	Висока	Використовуються робітники різної кваліфікації	Низька за наявності висококваліфікованих налагоджувань
Собівартість продукції	Висока	Середня	Найнижча

З підвищенням ступеня спеціалізації робочих місць, безперервності та прямоточності руху виробів по робочих місцях, тобто при переході від одиничного до серійного та від серійного до масового типів виробництва, збільшується можливість застосування спеціального обладнання та технологічного оснащення, більш продуктивних технологічних процесів, передових методів організації праці, механізації та автоматизації виробничих процесів, що в остаточному підсумку призводить до підвищення продуктивності праці та зниження собівартості продукції при одночасному підвищенні її якості.

1.9. Форми організації виробництва в машинобудуванні

Форми і методи організації технологічних процесів залежать від встановленого порядку виконання операцій, розташування технологічного обладнання, кількості виробів і напрямку їх руху при виготовленні. Існують дві форми організації технологічних процесів: групова і потокова. Основні ознаки цих форм регламентовані стандартами.

Групова форма організації технологічних процесів – це така форма, яка характеризується спільним виготовленням чи ремонтом груп виробів *різної конфігурації* на спеціалізованих робочих місцях.

Основою при груповій формі організації технологічних процесів повинно бути групування виробів за конструктивно-технологічними ознаками.

Потокова форма організації технологічних процесів характеризується спеціалізацією кожного робочого місця на виконання певної операції, узгодженим і ритмічним виконанням всіх операцій технологічного процесу на основі такту випуску, розміщенням робочих місць у послідовності, яка відповідає технологічному

процесу.

Потокова форма організації технологічних процесів в залежності від номенклатури одночасно оброблюваних виробів може бути реалізована у вигляді одно- або багатономенклатурної потокової лінії.

Одноменклатурна потокова лінія характеризується обробкою виробу одного найменування за закріпленим технологічним процесом протягом тривалого періоду часу. В залежності від кількості одночасно оброблюваних об'єктів одного найменування така лінія може бути одно- або багатопотоковою.

Однопотокова лінія характеризується обробкою на кожній операції одного об'єкта одного найменування.

Багатопотокова лінія характеризується одночасною обробкою на кожній операції двох і більше об'єктів одного найменування, причому виконання операцій дублюється для кожного об'єкта.

Багатономенклатурна потокова лінія характеризується послідовною обробкою груп виробів двох і більше найменувань за типовим технологічним процесом.

В залежності від характеру руху виробів по операціях потокові лінії поділяються на перервні та безперервні.

Потокові лінії, на яких деталі виготовляються по черзі, партіями, називаються *змінно-потоковими*. Вони характерні для серійного виробництва, для обробки конструктивно близьких деталей з відповідними переналагодженнями.

Якщо на потоковій лінії всі процеси, які виконуються робітниками-операторами, автоматизовані, то потокова лінія називається *автоматичною*.

Приклад визначення типу виробництва та форми організації технологічного процесу

Вихідні дані:

Річна програма випуску виробів N_1, шт.
Кількість деталей у виробі n, шт.
Запасні частини β, %
Режим роботи підприємства c, змін на добу

Річна програма деталей $$N = N_1 n\left(1 + \frac{\beta}{100}\right), \text{ шт.}$$

(прийнято N = 60000 шт.).

Дійсний річний фонд роботи обладнання $F_д$ [7, додаток]

Дані технологічного процесу за укрупненим нормуванням операцій

Операція	$T_{шт}$	$m_р$	P	$\eta_{сер.з}$	O
Перша	1 хв	0,33	1	0,33	1
Друга	2,4 хв	0,79	1	0,79	1
Третя	8,0 хв	2,65	3	0,88	1

$T_{шт}$ вибирається згідно [7, додатка 2];

$m_р = \frac{T_{шт} \cdot N}{F_д}$ – розрахункова кількість робочих місць;

Р – прийнято робочих місць заокругленням $m_р$;

$\eta_{ф.з} = \frac{m_р}{Р}$ – фактичний коефіцієнт завантаження робочих місць;

$О = \frac{\eta_{н.з}}{\eta_{сер.з}}$ – кількість операцій;

$\eta_{н.з}$ – нормативний коефіцієнт завантаження робочих місць (прийнято $\eta_{н.з} = 0,75$);

$К_{з.о} = \frac{\sum О}{\sum Р}$ – коефіцієнт закріплення операцій:

$К_{з.о} = \frac{1+1+1}{1+1+3} = 0,6$ – масове виробництво.

Якщо $\eta_{ф.з} \approx 0,25$, то $О = \frac{0,75}{0,25} = 3$. Тоді $К_{з.о} = \frac{3+3+3}{1+1+1} = 3$ – великосерійне виробництво.

При визначенні форми організації виробництва спочатку перевіряють доцільність застосування потокової форми на основі порівняння середнього штучного часу $Т_{шт.сер}$ для кількох основних операцій з розрахунковим тактом $Т_в$ випуску: $К_з = Т_{шт.сер}/Т_в$.

При $К_з \geq 0,6$ вибирають потокову форму, у протилежному випадку – групову.

Тривалість такту залежить від типу лінії:

– для одно номенклатурної:

$$Т_в = 60F_{д.о}К_з/N;$$

– для багато номенклатурної:

$$Т_в = 60F_{д.о}К_з / \sum_{i=1}^{n} N_i ;$$

– для автоматичної:

$$Т_в = 60F_{д.л}К_з/N,$$

де $F_{д.о}$ і $F_{д.л}$ – дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання потокової або автоматичної лінії, год;

$К_з$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

N – річна програма випуску виробів, шт.;

N_i – число і-их виробів (деталей), які підлягають випуску за рік;

і – порядковий номер виробу, і = 1, 2,…,n.

Якщо за тих чи інших причин в умовах серійного виробництва не вдається організувати потокове виробництво, приймають групову форму організації, яка характеризується періодичним запуском виробів (деталей) партіями.

Розмір партії запуску $П_з$ на стадії проектування визначають за формулою:

$$П_з = \frac{Та}{254},$$

де а = 3, 6, 12, 24 – періодичність запуску, днів;

254 – число робочих днів за рік.

Приклади визначення такту випуску виробів і розміру партії запуску

Задача 1

Визначити такт випуску деталей при їх масовому виготовленні, якщо:

$N_р$ = 812000 одиниць – ринкова потреба у виробах;

q = 5 років – життєвий цикл виробу;

c = 3 – кількість робочих змін за добу;

$n_в$ = 1 шт. – кількість деталей на один виріб;

η = 0,96 – коефіцієнт, який враховує затрати часу на ремонт обладнання.

Розв'язання

Такт випуску деталей визначається за формулою:

$$t_в = \frac{60 \cdot F_д \cdot c \cdot к_з}{N \cdot n_в},$$

де $F_д$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год;

$к_з$ = 0,75…0,95 – плановий нормативний коефіцієнт завантаження обладнання, який враховує простої з організаційно-технічних причин і регламентовані перерви на відпочинок (менше значення $к_з$ відповідає масовому виробництву);

N – річна програма випуску деталей, шт.

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання дорівнює:

$$F_д = F_н \cdot η,$$

де $F_н$ – номінальний річний фонд часу роботи обладнання, год.

За календарем номінальний річний фонд часу роботи обладнання (в одну зміну) рівний:

$$F_н = A \cdot 40 – B \cdot 8 – C \cdot 1,$$

де A – кількість робочих тижнів на рік: у звичайному році – 52,14; у високосному році – 52,29;

B – кількість святкових днів на рік;

C – кількість передсвяткових днів на рік, в які робочий час скорочується на одну годину.

Тоді номінальний річний фонд часу роботи обладнання дорівнює:

$$F_н = 52,14 \cdot 40 – 8 \cdot 8 – 4 \cdot 1 = 2018 \text{ год.}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання рівний:

$$F_д = 2018 \cdot 0,96 = 1937 \text{ год.}$$

Річна програма випуску виробів:

$$N = \frac{N_р}{q} = \frac{812000}{5} = 162400 \text{ одиниць.}$$

Тоді такт випуску деталей при їх масовому виготовленні дорівнює:

$$t_в = \frac{60 \cdot 1937 \cdot 30,75}{162400 \cdot 1} = 1,6 \text{ хв/шт.}$$

Задача 2

Визначити розмір партії деталей, що одночасно запускаються у виробництво при серійному виготовленні, якщо:

N = 800 шт. – річна програма випуску виробів;

$n_в$ = 8 шт. – кількість деталей на один виріб;

а = 6 днів – періодичність запуску.

Розв'язання

Розмір партії запуску на стадії проектування визначається з розрахунку добового завдання:

$$П_з = П_д \cdot а,$$

де $П_д$ – добове завдання, що визначається за формулою:

$$П_д = \frac{N \cdot n_в}{252} = \frac{800 \cdot 8}{252} = 26 \text{ шт.}$$

Тоді розмір партії запуску дорівнює:

$$П_з = 26 \cdot 6 = 156 \text{ шт.}$$

1.10. Поняття про технологічність конструкції виробів

Під *технологічністю конструкції виробу* розуміють сукупність властивостей конструкції, які забезпечують виготовлення, ремонт та технічне обслуговування виробу за найбільш ефективною технологією у порівнянні з аналогічними конструкціями за однакових умов їх виготовлення, експлуатації, при одних і тих же показниках якості [2].

Застосування ефективної технології припускає оптимальні затрати праці, матеріалів, коштів, часу при технологічній підготовці виробництва, в процесі виготовлення, експлуатації та ремонту, включаючи підготовку виробу до функціонування, контроль його працездатності, профілактичне обслуговування.

Від умов, в яких виготовляється виріб (тип виробництва, його організація, спеціалізація, програма і повторюваність випуску), залежать можливості відпрацювання технологічності конструкції, спрямованої на зниження трудомісткості виготовлення, собівартості виробу, зручності його ремонту в процесі експлуатації. Для оцінки конструкції використовують базові показники технологічності одного виробу, який представляє цілу групу виробів, наділених загальними конструктивними ознаками.

Склад робіт по забезпеченню технологічності конструкції виробів на всіх стадіях їх створення встановлюється Єдиною системою технологічної підготовки виробів (ЄСТПВ). Для кожного поняття технологічності державними стандартами встановлені терміни і визначення.

В ЄСТПВ технологічність розглядається як сукупність властивостей конструкції, що характеризують один з показників якості виробу. Методика оцінки цього показника якості повинна бути точно обгрунтована, а результати оцінки достовірні і визначені з доступною для перевірки точністю.

Єдиним критерієм технологічності конструкції виробу є її економічна доцільність при заданій якості та прийнятих умовах виробництва. При такому підході до оцінки конструкції необхідно розглядати весь комплекс вимог до неї в цілому, щоб, наприклад, незначна економія коштів при виготовленні не призводила у подальшому до економічно невигідного збільшення затрат на технічне обслуговування чи ремонт.

Відпрацювання виробу на технологічність представляє собою одну з найбільш складних функцій технологічної підготовки виробництва (ТПВ). Вона обумовлена тісним взаємним зв'язком між конструкцією виробу і технологією його виробництва.

Обов'язковість відпрацювання конструкцій виробів на технологічність на всіх стадіях їх створення встановлюється стандартами ЄСТПВ.

Основна задача забезпечення технологічності конструкції виробу полягає в досягненні оптимальних трудових, матеріальних і паливо-енергетичних затрат на проектування, підготовку виробництва, виготовлення, монтаж поза підприємством-виготовлювачем, технологічне обслуговування, технічне обслуговування і ремонт при забезпеченні решти заданих показників якості виробу в прийнятих умовах проведення робіт [2].

Розрізняють виробничу, експлуатаційну і ремонтну технологічність конструкції виробу.

Виробнича технологічність конструкції виробу виявляється в скороченні коштів і часу на конструкторську та технологічну підготовку виробництва, процеси виготовлення, в тому числі контроль та випробовування, монтаж поза підприємством-виготовлювачем.

Експлуатаційна технологічність конструкції виробу виявляється в скорочені коштів і часу на підготовку до використання виробу за призначенням, технологічне і технічне обслуговування, поточний ремонт, утилізацію.

Ремонтна технологічність виявляється в скороченні коштів і часу на всі види ремонтів, крім поточного.

Головними факторами, що визначають вимоги до технологічності конструкції виробу, є вид виробу, обсяг випуску, тип виробництва.

Вид виробу визначає головні конструктивні та технологічні ознаки, що обумовлюють основні вимоги до технологічності конструкції виробу.

Обсяг випуску і тип виробництва визначають ступінь технологічного оснащення, механізації і автоматизації технологічних процесів і спеціалізацію всього виробництва.

1.11. Стандартизація виробів, спеціалізація та кооперування виробництва

Уніфікація та стандартизація виробів машинобудування сприяє спеціалізації виробництва. Обмежуючи кількість типорозмірів виробів одного призначення мінімальним асортиментом найбільш досконалих зразків, стандартизація призводить до звуження номенклатури виробів при значному збільшенні програми їх випуску. Це дозволяє ширше застосувати потокові методи роботи і автоматизацію виробництва.

Спеціалізація виробництва є важливою умовою технічного процесу раціональної організації суспільної праці. Вона підвищує продуктивність праці і радикально поліпшує структуру машинобудівної промисловості, сприяючи концентрації виробництва конструктивно- і технологічно- однорідних виробів.

Спеціалізація та кооперування машинобудівного виробництва повинна проводитись по всіх стадіях технологічного процесу і в рамках великих територіально-виробничих комплексів. Її розвиток повинен проходити по лінії

прямих тривалих зв'язків між підприємствами та об'єднаннями.

Таким чином, розвиток потоково-масового виробництва у вітчизняному машинобудуванні обумовлений ступенем уніфікації та стандартизації виробів, що випускаються, та рівнем спеціалізації виробництва.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення понять "машина", "складальна одиниця", "деталь", "виріб" та наведіть структуру машини.
2. Дайте визначення поверхонь деталі та сформулюйте функції, які вони виконують.
3. Дайте визначення службового призначення машини та зазначте важливість його детального формулювання для створення нової машини.
4. Накресліть структуру технічної підготовки виробництва машин та перелічіть функції що виконуються на кожному її етапі.
5. Перелічіть роботи та етапи, що виконуються під час технологічної підготовки виробництва машин.
6. Дайте визначення понять "виробничий процес", "технологічний процес". В чому їх принципова різниця.
7. Дайте визначення понять елементів технологічного процесу: операція, установ, позиція, перехід (технологічний, допоміжний), хід (робочий, допоміжний), елемент прийому.
8. Дайте визначення просторових елементів технологічного процесу: виробнича площа, атестоване робоче місце.
9. Дайте визначення часових елементів технологічного процесу: цикл виготовлення машини, деталі, цикл операції, такт випуску виробів.
10. Дайте визначення "партія" запуску заготовок.
11. Дайте визначення понять: трудомісткість, норма часу, норма виробітку, верстатомісткість.
12. Наведіть формули для визначення штучного та штучно-калькуляційного часу, поясніть сутність їх складових частин.
13. Назвіть типи виробництва та охарактеризуйте їх сутність. За яким нормативом визначається тип виробництва?
14. Назвіть форми організації виробництва в машинобудуванні, охарактеризуйте їх сутність.
15. Що входить в поняття "технологічність конструкції виробу"?
16. Що означає поняття "ефективна технологія"?
17. Що розуміється під умовами виробництва?
18. Що є основним критерієм технологічності конструкції виробу?
19. В чому полягають основні задачі відпрацювання виробу на технологічність?
20. Охарактеризуйте основні складові частини технологічності конструкції виробу.
21. В чому полягає позитивна роль у машинобудуванні стандартизації виробів, спеціалізації та кооперування виробництва?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К., 1993. – 544 с.

2. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. – М., 1987. – 320 с.

3. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.–М.,1985. – 496 с.

4. Методичні вказівки і завдання для індивідуальної роботи з основ технології машинобудування під контролем викладача. – ЧІТІ, 1993.

5. Руденко П.А. Теоретические основы технологии машиностроения: Конспект лекций. – Чернигов, 1986. – 258 с.

6. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів. – К.: Вища школа, 1993. – 414 с.

7. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування. – Луцьк, 1996. – 300 с.

ТЕМА 2
Загальні поняття про якість виробів та основні показники якості розсіяння характеристик якості

2.1. Загальні поняття про якість виробів, показники якості

Якість машин, що виготовляються, має велике народногосподарське значення. Від неї суттєво залежить економічна ефективність використання нової техніки в різних галузях промисловості і народному господарстві.

Якість машин закладається в їх конструкцію при проектно-конструкторських розробках, забезпечується на заданому рівні у виробництві і підтримується протягом певного часу в експлуатації.

За державним стандартом під якістю промислової продукції розуміють сукупність властивостей, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби у відповідності з її призначенням.

Якість машин характеризується системою показників, на кожен з яких має бути встановлена кількісна величина з допуском на її відхилення, яка б забезпечувала економічність виконання машиною її службового призначення.

Система якісних показників зі встановленими на них кількісними даними і допусками, які описують службове призначення машини, отримали назву технічних умов та норм точності на приймання готової машини.

До найбільш важливих показників якості відносять експлуатаційні показники: технічний рівень машини, її надійність, ергономічність та естетичні характеристики.

Технічний рівень (потужність, ККД, продуктивність, точність роботи, ступінь автоматизації, економічність та ін.) визначає ступінь досконалості машини. Її можна оцінити в абсолютних і відносних одиницях.

Ці показники використовують при порівнянні якості машин, що виготовляються, з кращими вітчизняними та зарубіжними зразками. В деяких випадках застосовують інтегрований (комплексний) показник. Він може, зокрема, відображати відношення загального корисного ефекту від експлуатації машини до сумарних витрат на її створення та експлуатацію.

Технічний рівень машини залежить не тільки від її конструкції, але й від технології її виготовлення.

Надійність є комплексним показником, який включає безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність, а також властивість машини зберігати справний і працездатний стан протягом певного проміжку часу. Надійність машини суттєво залежить від технології її виготовлення, яка впливає на естетичні характеристики машини (її загальний вигляд, оформлення), а деякою мірою й на її ергономічні характеристики.

Крім експлуатаційних показників якості машини, надійність оцінюється системою *виробничо-технологічних показників*, які характеризують ефективність конструктивних рішень з точки зору забезпечення оптимальних затрат праці та коштів на виготовлення виробу, його технічне обслуговування та ремонт. До цих

показників відносять: трудомісткість, верстатомісткість, виробничий цикл, конструктивну та технологічну спадкоємність виробу та ін.

Економічні показники якості машини (капіталовкладення у виробництво та експлуатацію машини, собівартість виготовлення машини і собівартість одиниці продукції, що виготовляється машиною) також суттєво залежать від технології виготовлення машини.

Кожен з перелічених основних показників відносно того чи іншого типу машини конкретизується у вигляді цілої системи додаткових якісних і кількісних показників, які характеризують особливості машини даного типу і призначені для виконання даного службового призначення.

Технічними умовами ставиться задача, яку потрібно розв'язати машинобудівному підприємству як в процесі конструювання машини, так і під час її виготовлення. Правильне та чітке формулювання задачі деякою мірою зумовлює успіх найбільш швидкого та економічного її розв'язання.

Отже, *розробка якісних і кількісних показників технічних умов є однією з найбільш відповідальних задач*, оскільки від її правильного розв'язання залежить якість та економічність виконання машиною службового призначення, швидкість освоєння та економічність виготовлення. На найбільш поширену промислову продукцію технічні умови і стандарти розробляються і затверджуються на державному рівні. Як приклади можна навести стандарти на електродвигуни, автомобілі, верстати, підшипники та ін.

Показником якості машин, досягнення та забезпечення якого викликає найбільші труднощі і затрати в процесі створення і особливо в процесі виготовлення машин, є *точність машин*. Встановлення необхідної точності та технологічне забезпечення її у виробничих умовах є відповідальною задачею конструктора виробу і технолога.

2.2. Загальні поняття про точність деталей та точність машин

2.2.1. Точність деталі

Під *точністю деталі* розуміють ступінь її наближення до геометрично правильного її прототипу.

Виготовити будь-яку деталь абсолютно точно, тобто у повній відповідності її з геометричним представленням, практично неможливо, тому за міру точності приймають величини відхилень від теоретичних значень. Ці відхилення після їх вимірювання порівнюють з відхиленнями, які допускаються службовим призначенням деталі в машині. Отже, по всіх показниках якості деталі, що характеризують її службове призначення, необхідно встановлювати допустимі відхилення чи допуски.

Допуск – це найбільше значення похибки, при якій деталь ще задовольняє своє службове призначення.

Точність деталі характеризують наступні основні показники:

1. Точність відстані між якими-небудь її двома поверхнями, чи точність розмірів поверхні деталі, що надають їй ті чи інші геометричні форми (наприклад, діаметр і

довжина циліндричної поверхні).

2. Точність повороту (взаємного положення) однієї поверхні відносно іншої, вибраної за базу. Оскільки деталь представляє собою просторове тіло, то точність повороту (відносного положення) однієї поверхні відносно іншої звичайно розглядають в двох перпендикулярних координатних площинах.

Під точністю повороту (взаємного положення) розуміють величину відхилення від потрібного кутового положення однієї поверхні відносно іншої в кожній з двох координатних площин.

3. Точність геометричних форм поверхонь деталі чи правильність геометричних форм. Під цим розуміють найбільше наближення кожної з поверхонь деталі до її геометричного представлення.

З викладеного можна зробити висновок, що деталь вважається точно обробленою (точною), якщо похибка відповідного параметра не перевищує допуск на нього, тобто:

$$\Delta_р \le T_р;\ \Delta_п \le T_п;\ \Delta_ф \le T_ф,$$

де $\Delta_р$, $\Delta_п$, $\Delta_ф$ – фактичне відхилення відповідно розмірів, поворотів (взаємного положення), форми;

$T_р$, $T_п$, $T_ф$ – допуски відповідно розмірів, поворотів (взаємного положення), форми.

2.2.2. Точність машини

Розглянуті вище показники, що характеризують точність деталі, використовуються і для характеристики точності машини. Різниця полягає тільки в тому, що у деталі всі показники точності відносяться до поверхонь однієї даної деталі, у машини ж вони відносяться до виконавчих поверхонь, які належать різним зв’язаним одна з одною деталям машини.

Оскільки виконавчі поверхні машини повинні здійснювати відносний рух, необхідний для виконання її службового призначення, тому одним з основних показників, що характеризує точність машини, є точність відносного руху виконавчих поверхонь.

Під точністю відносного руху приймається максимальне наближення дійсного характеру руху виконавчих поверхонь до теоретичного закону руху, вибраному виходячи із службового призначення машини.

Точність відносного руху характеризується величиною належного відхилення, на яке відповідно з викладеним раніше, повинен встановлюватись (як і на інші показники точності) допуск.

Виходячи з викладеного вище, точність машини характеризується такими основними показниками:

1) точність відносного руху виконавчих поверхонь машини;

2) точність відстаней між виконавчими поверхнями чи замінюючими їх сполученнями та їх розмірів;

3) точністю відносних поворотів виконавчих поверхонь;

4) точністю геометричних форм виконавчих поверхонь (включаючи макрогеометрію та хвилястість);

5) шорсткістю виконавчих поверхонь.

2.2.3. Встановлення оптимальних допусків

Встановлення заданої точності є відповідальним етапом роботи конструктора. Вона встановлюється на основі аналізу умов роботи машини із врахуванням економіки її виготовлення і наступної експлуатації. Задача розв'язується на базі теоретичних та експериментальних даних із врахуванням досвіду експлуатації машин аналогічного типу.

В залежності від того, які вимоги необхідно витримати, підхід до забезпечення точності може бути різним. У простіших випадках необхідну точність знаходять на основі геометричного аналізу і розрахунку розмірних ланцюгів виробу. Для швидкохідних машин розрахунки потрібно проводити із врахуванням динамічних явищ. Для рухомих з'єднань необхідно врахувати умови змащування контактуючих поверхонь, а для з'єднань з гарантованим натягом обов'язкова перевірка за силами зсуву і моментами. Враховують також теплові явища, вимоги взаємозамінності, якість поверхонь спряжених деталей, умови складання та ремонту, допустиме зношування, яке визначає тривалість роботи машини до ремонту. Проте надто висока точність підвищує витрати при виробництві машин і мало підвищує їх функціональні якості. При жорстких допусках, тобто з підвищенням точності виготовлення машини, зростає трудомісткість та собівартість її виготовлення.

Для кожного конкретного випадку допуски на всі показники якості машини повинні встановлюватись на основі техніко-економічних розрахунків, які повинні мати на увазі досягнення найменших затрат суспільно необхідної праці на вирішення задач, для виконання яких створюється машина.

При цьому не треба забувати, що засоби виробництва безперервно розвиваються і удосконалюються, внаслідок чого, з одного боку, безперервно зростають вимоги до якості машин, а з іншого – створюється можливість забезпечення підвищення якості з найменшими затратами праці і коштів.

Допуски на всі показники точності машини, які встановлені виходячи із її службового призначення, поділяють звичайно на дві складові: першу, яку використовують при виготовленні машини, і другу, яку залишають на зношування машини під час її експлуатації.

Складові допусків, що призначені на виготовлення машини, прийнято називати *допусками на приймання готової машини в робочому стані*. Ці складові допусків, в свою чергу, також доводиться ділити на декілька нерівних частин, що робиться для компенсації відхилень, які виникають внаслідок:

1) використання наближених, замість точних, законів відносного руху виконавчих поверхонь машини, а також застосування через недостатність знань наближених методів розрахунку;

2) недостатньої жорсткості самих деталей машини, які деформуються як під впливом діючих сил і коливань температури, так і внаслідок перерозподілу внутрішніх напружень;

3) недостатньої жорсткості стиків;

4) похибок регулювання та складання машини і виготовлення її деталей.

Останню частину допусків прийнято називати *допусками на приймання готової машини без робочих навантажень.* Цю частину також поділяють на: допуски на регулювання та складання машини і на допуски на виготовлення деталей.

Поділ допусків на виготовлення машини між їх складовими також необхідно здійснювати на основі техніко-економічних розрахунків, маючи на увазі найменші витрати суспільно необхідної праці на виготовлення машини.

2.2.4. Економічна та досяжна точність обробки

Розрізняють економічну та досяжну точність обробки.

Під економічною точністю механічної обробки розуміється середнє значення відхилень деталей від номіналу, що отримують при даному методі обробки за нормальних виробничих умов при найменших затратах.

Під нормальними виробничими умовами розуміють: справне устаткування, застосування необхідного різального і вимірювального інструмента, пристосувань належної якості, відповідність кваліфікації працівника і затрат часу виконуваній роботі.

Поняття економічної точності відносне, оскільки навіть незначна зміна виробничих умов може сильно впливати на неї.

Кожному методу обробки відповідає визначений діапазон кваліте тів точності. Для чорнових операцій це, в першу чергу, пов’язано з точністю вихідної заготовки, для чистових – з умовами здійснення обробки.

Точність форми і взаємного розміщення поверхонь суттєво залежить від типу устаткування, на якому обробляються деталі, а також від методу координації інструменту.

Дані з економічної точності обробки при різних її видах наведені в [2, табл.12.1–12.3].

У зв’язку з відмінністю розмірів, форми і твердості оброблюваних заготовок, стану верстатів, режимів роботи та інших технологічних факторів таблиці дають середні значення економічної точності обробки.

Точність, яку можна досягти за особливо сприятливих умов для даного виробництва називають досяжною точністю обробки.

Точність необхідно знати технологу, щоб призначити необхідні методи обробки.

В серійному і масовому виробництві застосовують економічну точність, тільки в умовах одиничного виробництва (за відсутності належного устаткування) технолог може орієнтуватись на досяжну точність обробки. Наприклад, в умовах малого підприємства, за відсутності круглошліфувального верстата, можна обробку шийок під підшипники на валу (7 квалітет точності) проектувати на токарному верстаті. В цьому випадку досягнення цього високого кінцевого результату буде забезпечене тільки високою кваліфікацією та старанням робітника.

2.2.5. Методи досягнення заданої точності розміру деталі

Необхідна точність розміру при обробці деталі може бути досягнута наступними

методами.

1. Методом пробних робочих ходів:

– встановити та вивірити заготовку;

– послідовно знімати пробні стружки та замірювати одержані розміри, і так продовжувати до одержання необхідного результату.

Метод трудомісткий, застосовується в одиничному та дрібносерійному виробництвах.

2. Методом автоматичного одержання заданого розміру.

Суть методу полягає в тому, що партію заготовок обробляють на попередньо настроєному верстаті зі встановленням заготовок у пристроях без вивірення їх положення, а різальний інструмент при налагодженні верстата встановлюють на визначений розмір, який називається настроювальним. Одержання заданого розміру досягають за один робочий хід, тобто при однократній обробці. Цей метод більш продуктивний, ніж метод пробних ходів, але потребує спеціальних пристроїв і більш стабільних за розмірами вихідних заготовок.

Обробку методом автоматичного одержання заданих розмірів широко застосовують в серійному і масовому виробництвах.

В обох розглянутих методах на точність обробки впливають суб'єктивні фактори – кваліфікація робітника: при першому методі цей вплив проявляється на точності встановлення та вивірення заготовки і на точності встановлення інструмента, при другому методі – на точності встановлення інструмента і пристрою в процесі налагодження верстата перед обробкою партії заготовок.

2.2.6. Точність складання

При складанні машин можуть проявитись похибки взаємного розташування їх елементів, неякісні спряження, а також деформації з'єднуваних деталей. Похибки погіршують функціональні характеристики машин.

Похибки складання викликаються:

1) відхиленнями розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь сполучуваних деталей; ці відхилення впливають на зазори і натяги (змінюючи задані посадки), викликають радіальне і торцеве биття при складанні обертаючих частин, неспіввісність та інші похибки взаємного положення елементів машини;

2) неякісною обробкою сполучуваних поверхонь, в результаті чого виникає їх нещільне прилягання, зниження контактної жорсткості стиків і герметичності з'єднань;

3) неточним встановленням та фіксацією елементів машини в процесі її складання;

4) неякісним припасуванням і регулюванням сполучуваних елементів машини;

5) порушенням умов і режимів виконання складальних операцій (нерівномірне затягнення нарізних з'єднань, що викликає перекоси і деформації складуваних елементів, перекоси й деформації при запресуванні та інших видах з'єднань, деформація при закріпленні деталей в складальних пристроях);

6) геометричними неточностями складального обладнання, пристроїв та інструментів;

7) неточним налагодженням складального обладнання;

8) тепловими деформаціями елементів технологічної системи (складальне обладнання – пристрій – інструмент – складуваний об'єкт).

Похибки складання можуть виникати також в результаті деформації сполучуваних деталей від дії залишкових напружень в їх матеріалі. Нетехнологічні конструкції виробів утруднюють отримання заданої точності.

Необхідна точність сполучення деталей при складанні забезпечується методами повної, неповної (часткової) та групової взаємозамінності, а також регулюванням та індивідуальним припасуванням.

При складанні *методом повної взаємозамінності* відбувається лише з'єднання сполучуваних деталей і частин виробу, що забезпечує організацію потокової роботи, можливість кооперування виробництва, спрощує забезпечення запасними частинами і ремонт машин, що знаходяться в експлуатації.

При складанні *методом неповної* (часткової) *взаємозамінності* допуски на розміри сполучуваних деталей беруться більшими, ніж у випадку складання методом повної взаємозамінності. Потрібна точність замикальної ланки досягається не у всіх складуваних об'єктів. В основі методу лежить положення теорії ймовірності, за яким граничні величини ланок розмірного ланцюга зустрічаються рідше, ніж середнє. Тому відсоток виробів, у яких величина замикальної ланки виходить за межі потрібного допуску, незначний.

В тих випадках, коли конструктивні допуски менші за технологічні (економічно доцільні), застосовують *метод групової взаємозамінності*.

Складання *методом регулювання* полягає в тому, що потрібна точність замикальної ланки досягається шляхом зміни величини заздалегідь вибраної компенсуючої ланки без зняття з неї шару матеріалу.

Деталі, шляхом зміни положення яких досягається потрібна точність замикальної ланки, отримали назву *рухомих компенсаторів* (рис. 2.1).

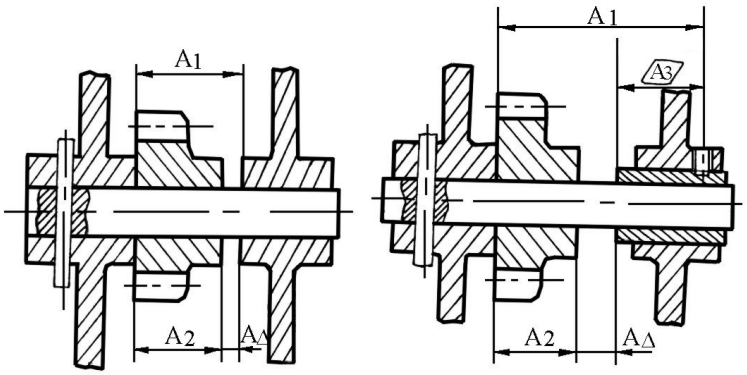


Рис. 2.1. Схема досягнення точності замикальної ланки методом регулювання з використанням рухомого компенсатора

Спеціальні деталі належних розмірів чи з потрібним відносним поворотом їх поверхонь (з потрібними кутовими відхиленнями), що вводяться в розмірний ланцюг з

тією ж метою, називають *нерухомими компенсаторами* (рис. 2.2).

Складання *методом індивідуального припасування* полягає в тому, що задану точність сполучення досягають шляхом індивідуального припасування однієї зі сполучуваних деталей до іншої.

Припасування виконують обпилюванням, шабренням, притиранням, а також спільною обробкою сполучуваних поверхонь (розточування чи розвертання отворів для забезпечення їх співвісності).

Вибір того чи іншого методу забезпечення точності визначається аналізом розмірних ланцюгів виробу, що складається. Ця задача розв'язується конструктором. В кресленнях виробу повинен бути відображений і прийнятий метод його складання.

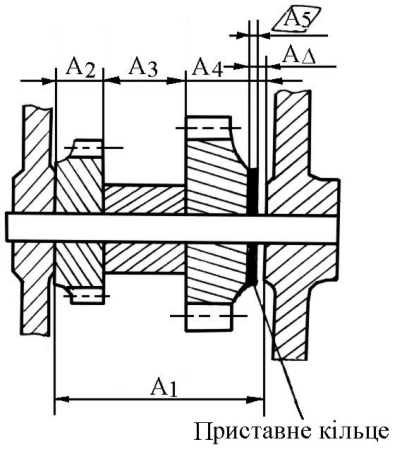


Рис. 2.2. Схема досягнення точності методом регулювання з використанням нерухомого компенсатора

Розмірні ланцюги, в залежності від методу складання, розраховують двома методами, а саме: *методом максимуму-мінімуму та ймовірнісним методом*. Обидва методи розрахунку розмірних ланцюгів з розв'язанням прямих і обернених задач наведені у державному стандарті.

2.3. Контроль якості машин

2.3.1. Поняття про контроль точності машин та їх вузлів

Контроль, якому піддаються кожен вузол і кожна машина, має за мету перевірити відповідність форми, відносного положення і переміщення їх виконавчих поверхонь встановленим нормам.

Ефективність будь-якого контролю тим вища, чим ближчі результати вимірювань параметрів, що контролюються, до їх дійсних значень.

Ступінь наближення виміряного значення до дійсного залежить від наступних факторів:

– розкриття суті параметра, що контролюється, і явищ, що породжують

виникнення похибок;

– правильності виявлення взаємозв'язку різних параметрів та вміння відокремити параметр, що контролюється;

– правильності вибору чи розробки засобів контролю;

– техніки здійснення контролю.

Правильна і чітка термінологія розкриває суть параметра, що контролюється. Основні терміни, що характеризують відхилення форми, відносне положення і переміщення поверхонь деталей, встановлені державними стандартами.

Проте, для успішного здійснення контролю ще недостатньо розуміти суть параметра, що контролюється. Необхідно бачити і враховувати взаємозв'язок параметра, що контролюється, з іншими параметрами, що впливають на точність машини. Наприклад, точність визначення відстані між двома плоскими поверхнями деталі залежить від точності повороту (взаємного положення) і форми цих поверхонь. Тому, в першу чергу, необхідно контролювати форму, потім – поворот, і в останню чергу – відстань між плоскими поверхнями.

Згідно визначення державного стандарту, радіальне биття є результатом спільного прояву відхилення від циліндричності поверхні та неспівпадання осі поверхні, що контролюється, з віссю обертання деталі. Це неспівпадання складається з відносного зміщення і повороту осей 1 і 2 у просторі (рис. 2.3). Тому робити висновок про радіальне биття будь-якої поверхні деталі можна не взагалі, а лише відносно до перерізу, в якому здійснюється контроль.

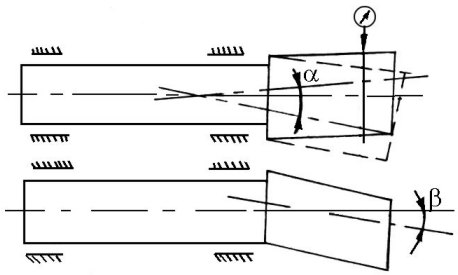
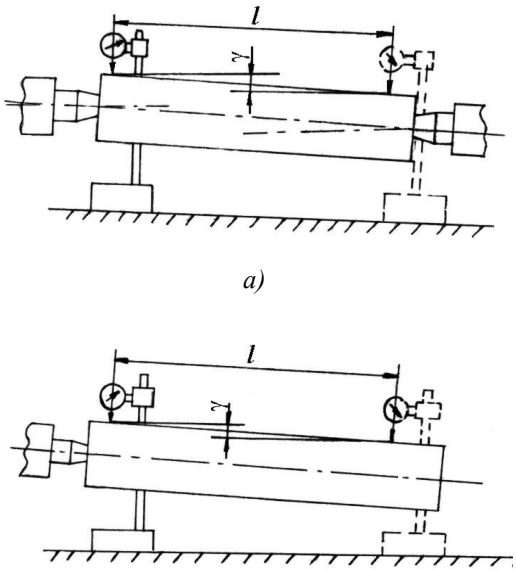


Рис. 2.3. Неспіввісність шийок вала у двох координатних площинах

Щоб отримати при контролі найбільш повне уявлення про значення параметра, що контролюється, необхідно виключити, наскільки це можливо, вплив похибок взаємозв'язаних з ним параметрів. Наприклад, співвісність переднього і заднього центрів токарного верстата звичайно перевіряють за допомогою оправки, закріпленої в центрах. Переміщуючи вздовж по оправці розташовані в двох координатних площинах і встановлені на супорті індикатори, роблять висновки про величину і напрямок відхилення від співвісності центрів (рис. 2.4, *а*). Але аналогічні покази можуть дати індикатори за наявності повороту осі оправки відносно напрямних станини при абсолютній співвісності центрів (рис. 2.4, *б*). Тому, перш ніж приступати до перевірки співпадання осей центрів у передній і задній бабках токарного верстата, необхідно забезпечити паралельність осей отворів під центри в шпинделі і пінолі в більш жорстких межах у порівнянні з допустимим відхиленням від співвісності центрів.

Контроль деяких параметрів потребує матеріалізації геометричних представлень (наприклад, відстань між осями двох отворів, відхилення від площинності поверхні деталі).



а)

б)

Рис. 2.4. Перевірка співвісності центрів токарного верстата за допомогою оправки
l – довжина вимірювання; γ – різниця показів індикаторів

Геометричні представлення матеріалізують за допомогою спеціальних деталей або пристосувань (оправки, контрольні плити тощо).

Оскільки все це пов'язано із введенням у вимірювальні розмірні ланцюги додаткових ланок, які мають похибки, то велике значення має власна точність всіх деталей і пристосувань, що використовують при перевірках, а також точність їх встановлення. За цих умов вважається допустимою похибка розпізнання параметра, що контролюється, яка не перевищує 10…20 % його поля допуску.

2.3.2. Випробовування машин

Метою випробовування машин є перевірка правильності роботи і взаємодії всіх механізмів машини, перевірка її потужності, продуктивності та точності. Таким чином, випробовування машини є перевіркою якості машини, одержаної в результаті всього виробничого процесу її виготовлення.

В залежності від виду, призначення та масштабу випуску машини проходять випробування на холостому ходу (перевірка роботи механізмів і паспортних даних) і в роботі під навантаженням, а також випробовування на продуктивність, жорсткість,

потужність та точність.

Випробовування на холостому ходу. При цьому випробовуванні перевіряють всі включення і переключення органів керування та механізмів машини, правильність їх взаємодії та надійність блокування, безвідмовність дії та точність роботи автоматичних пристосувань. Разом з тим перевіряють додержання норм правильності роботи підшипників, зубчастих коліс.

Випробовування машин під навантаженням повинні виявити якість її роботи у виробничих умовах, близьких до умов експлуатації. Під навантаженням на певних режимах, що встановлюються технічними умовами або правилами, випробовують всі машини.

Випробовуванню на продуктивність піддають звичайно не всі машини, а лише машини спеціального призначення та дослідні зразки. В процесі випробовування виявляють, чи відповідає продуктивність виготовленої машини вимогам замовлення, чи має машина потрібну швидкість.

Випробовування на жорсткість. На жорсткість випробовують головним чином верстати. В наш час норми жорсткості та методи випробовування широкого кола верстатів стандартизовані.

Випробовування на потужність. Цим випробовуванням піддають всі машини при одиничному виробництві і всі або вибірково машини, виготовлені серійно. Не випробовують на потужність машини простої конструкції, а також машини, що заздалегідь мають великий запас потужності.

Мета випробовування машини на потужність – визначити її коефіцієнт корисної дії при максимально допустимому навантаженні. Навантаження машині створюють за допомогою спеціальних гальмівних пристосувань, які відтворюють максимальні сили, що виникають при експлуатації машини.

Випробовування на точність. На точність випробовують звичайно машини, які виробляють, сортують та контролюють продукцію (верстати, преси та ін.). Контроль машин на точність повинен дати заключну оцінку якості машини, її спроможності виробляти продукцію потрібної якості. Тому оцінку точності машини при проведенні випробовувань дають за результатами досягнення нею точності виконання роботи.

Для машин поширених типів (токарні, фрезерні та інші верстати) порядок проведення випробовувань на точність, зразки деталей, що виготовляються, і точність обробки зразків регламентовані державними стандартами.

Для оригінальних машин програму і режими випробовувань розробляють в залежності від їх призначення, конструкції та потрібної точності.

2.4. Розсіювання характеристик якості

При розгляді цього пункту і далі прийняті наступні позначення:

X – ім’я випадкової величини;

$\overline{X}$ – середньоарифметичне значення X;

x – можливі значення випадкової величини X;

x_j – поточне значення незгрупованих значень X;

x_i – середина інтервалу (за наявності згрупованих даних);

N – генеральна сукупність спостережень (вимірювань);

n – обсяг вибірки (число деталей у вибірці);

m_i – частота (кількість деталей, що мають однакове значення вимірюваного параметра);

$\frac{m_i}{n}$ – частість;

f – число інтервалів;

Y – значення ординати теоретичної кривої розсіяння (Y = m_1 – частота, що відповідає x);

S – емпіричне середнє квадратичне відхилення випадкової величини;

σ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини;

σ^2 – дисперсія випадкової величини;

e – основа натурального логарифму e = 2,7128;

Δ_p – поле розсіювання;

π = 3,14.

Випадкова величина (випадкова похибка) – це змінна величина, яка в результаті досліджень (випробовувань) може прийняти те чи інше значення в межах певного інтервалу (на певний момент її значення і напрямок невідомі).

Систематична постійна похибка – це така похибка, значення і напрямок якої можна визначити вимірюванням.

Систематична змінна похибка – це похибка, значення і напрямок якої можна визначити за законом згідно з яким вона змінюється.

2.4.1. Загальні поняття про розсіювання характеристик якості виробів

При протіканні будь-якого технологічного процесу на нього впливає велика кількість різноманітних факторів. Наприклад, при обробці заготовок на верстаті беруть участь верстат, пристрій для встановлення та закріплення заготовки і різального інструмента, самі оброблювані заготовки, робітник, середовище тощо.

В силу ряду причин всі ці фактори безперервно змінюються, в результаті чого виникають випадкові похибки які змінюють і всі показники кінцевого результату технологічного процесу.

Тому незважаючи на те, що вироби виготовлені за допомогою одного й того ж технологічного процесу, всі вони відрізняються один від одного і від розрахункового прототипу по всіх характеристиках якості. Це явище одержало назву *розсіяння характеристик якості виробів*.

Сукупність значень істинних розмірів заготовок, оброблених за незмінних умов і розташованих у зростаючому порядку із вказанням частоти повторення цих розмірів, називається *розподілом розмірів заготовок.*

За різних умов обробки заготовок розсіяння їх істинних розмірів підкоряється різним математичним законам.

В технології машинобудування велике практичне значення мають наступні закони: нормального розподілу (закон Гаусса); рівної ймовірності; трикутника (Сімпсона); ексцентриситету (Релея) і функції розподілу, що представляють собою

композиції цих законів.

2.4.2. Закон нормального розподілу (Закон Гаусса)

Експериментально встановлено, що у більшості випадків при стійкому процесі механічної обробки заготовок на налагоджених верстатах з точністю 8–10 квалітетів і грубіше та за відсутності змінюваних в часі систематичних похибок точність обробки підкоряється *закону нормального розподілу*, який зображується *кривою Гаусса*, рівняння якої має вигляд:

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\overline{X})^2}{2\sigma^2}}.$$

Графічно закон нормального розподілу (закон Гаусса) зображується у вигляді кривої горбоподібного типу (рис. 2.5), гілки якої входять у $+\infty$ та $-\infty$, асимптотично наближуючись до осі абсцис.

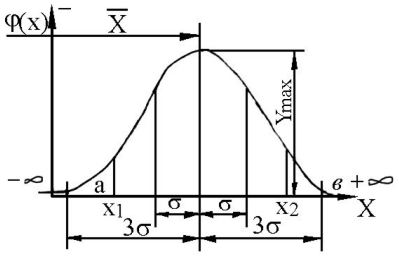


Рис. 2.5. Крива нормального розподілу (закон Гаусса)

Закон нормального розподілу характеризується двома параметрами: σ і $\overline{X}$. Параметр σ є мірою розсіювання випадкової величини X. Зі збільшенням σ крива розподілу стає більш пологою, а її гілки розсовуються ширше, зі зменшенням σ крива нормального розподілу робиться більш витягнутою, а її гілки зближуються (рис. 2.6).

σ приблизно, за результатами вимірювань, розраховується за формулою:

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} (x_j - \overline{X})^2}{n}}$$

або

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{f} (x_i - \overline{X})^2 m_i}{f}}. \qquad (2.2)$$

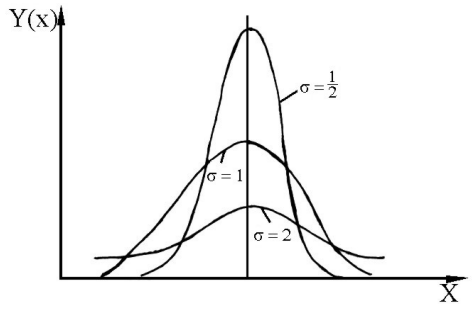


Рис. 2.6. Вплив середнього квадратичного відхилення на форму кривої нормального розподілу

Параметр $\overline{X}$ є мірою положення кривої нормального розподілу відносно осі ординат. Зі збільшенням $\overline{X}$ криві розподілу зсуваються вправо, зі зменшенням $\overline{X}$ – вліво (рис. 2.7).

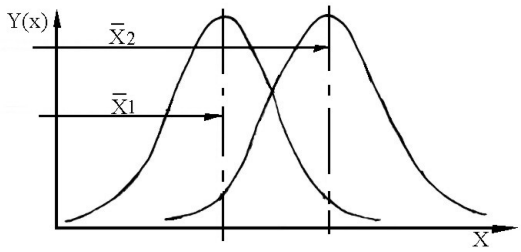


Рис. 2.7. Вплив $\overline{X}$ на положення кривої розподілу відносно початку координат

$\overline{X}$ визначається за формулою:

$$\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} = \frac{\sum_1^n x_j}{n},$$

або при розподілі згрупованих даних за f-інтервалами:

$$\overline{X} = \frac{\sum_1^f x_i m_i}{f}. \qquad (2.3)$$

Оскільки гілки кривої нормального розподілу прямують до нескінченності, то поле розсіяння випадкової величини X дорівнює нескінченності. З віддаленням значень x від $\overline{X}$ ймовірність отриманих результатів їх зменшується і доходить до надто малих значень. При малих ймовірностях подія здійснюється рідко і, отже, значеннями x можна знехтувати. Тому для практичного використання кривої нормального розподілу її абсцису виражають через σ і обмежують поле розсіяння значень x межами $x \pm t\sigma$, тобто

практичне поле розсіяння випадкової величини приймають рівним (рис. 2.5):

$$\Delta_p = \overline{X} + t\sigma - \overline{X} + t\sigma = 2t\sigma, \quad (2.4)$$

де $t = \frac{x - \overline{X}}{\sigma}$ – нормований параметр розподілу. (2.5)

Значення t вибирається в залежності від прийнятої ймовірності P знаходження значень x в межах поля розсіяння Δ_p та ймовірності q = 1 – p виходу значень x за межі Δ_p Вибір значень t провадять за відповідними таблицями, які додаються до курсу математичної статистики.

Найчастіше приймають t = 3. Цьому значенню відповідає ймовірність P = 0,9973 і q = 0,0027. Отже, при t = 3,99,73 % всіх можливих значень x буде лежати в межах поля розсіювання, рівного $\Delta_p = 6\sigma$, і тільки 0,27 % значень вийде за його межі. Цей відсоток настільки малий, що значеннями σ, які виходять за межі $\Delta_p = 6\sigma$, можна знехтувати і практично вважати, що всі значення лежать в межах поля розсіювання.

Часто на практиці спочатку будують емпіричну криву розподілу, де емпіричне середнє квадратичне відхилення визначається за формулою (2.2), а потім визначається σ за формулою:

$$\sigma = \gamma S, \quad (2.6)$$

де γ – коефіцієнт, який враховує похибку визначення σ при малих розмірах партії вимірюваних заготовок.

Таблиця 2.1

Поправковий коефіцієнт γ [3]

N	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	200
γ	1,4	1,39	1,33	1,3	1,26	1,24	1,25	1,22	1,21	1,2	1,15

Нормальний закон розподілу спостерігається в тих випадках, коли досліджувана випадкова величина є результатом дії великої кількості різних факторів, причому всі фактори за інтенсивністю свого впливу діють однаково. Цьому закону підкоряється велика кількість безперервних величин: розміри деталей, оброблених на настроєних верстатах; маса заготовок і деталей машин; твердість та інші механічні властивості матеріалу; висота мікронерівностей на оброблених поверхнях; похибки вимірювань та деякі інші величини. У всіх перелічених випадках доводиться спостерігати невеликі відхилення від нормального закону.

2.4.3. Побудова кривої нормального розподілу

1. Береться поточна вибірка із партії заготовок, оброблених підряд одна за одною за одних і тих же умов обробки на одному й тому ж верстаті. Для отримання достовірних результатів обсяг вибірки повинен бути в межах $1000 \geq n \geq 50$.

2. Вимірюють всі заготовки за потрібним параметром інструментом зі шкалою з мінімальною ціною поділки. Ціну поділки вимірювального інструменту вибирають з умови:

$$c = \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{10}\right)T,$$

де T – допуск вимірюваного параметра.

За результатами вимірювань визначається різниця між найбільшим і найменшим розмірами, тобто: $w_p = x_{max} - x_{min}$.

3. Отримані значення параметра заготовок вибірки розбивають на f інтервалів. Ширина d інтервалу повинна не менше ніж у два рази перевищувати ціну поділки вимірювального інструменту (приладу): $d \geq 2c$; $d = \Delta_p/f$.

Число інтервалів визначається за таблицею:

n	20–40	40–60	60–100	100	100–160	160–250
f	6	7	8	10	11	12

або за формулою:

$$f = 1 + 3{,}322 \lg n.$$

4. Для кожного інтервалу розраховують частоту m_i та частість m_i/n і заносять їх у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Розподіл розмірів заготовок

Інтервал, мм	Частота	Частість
20,00–20,05	2	0,02
20,05–20,10	11	0,11
20,10–20,15	19	0,19
20,15–20,20	28	0,28
20,20–20,25	22	0,22
20,25–20,30	15	0,15
20,30–20,35	3	0,03
Всього	$n = \sum m = 100$	$\sum m/n = 1$

5. За даними табл. 2.2 будується графік (рис. 2.8). По осі абсцис відкладають інтервали розмірів у відповідністю з табл. 2.2., а по осі ординат – відповідні їм частоти m_i або частості m_i/n.

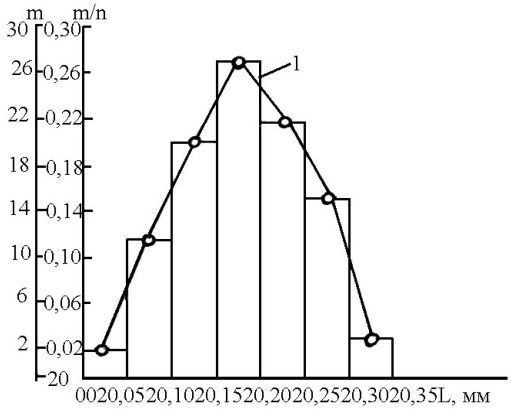


Рис. 2.8. Розподіл виміряних розмірів заготовок

В результаті побудови отримується ступінчаста лінія I, яка називається *гістограмою розподілу*. Якщо послідовно з'єднати між собою точки, що відповідають середині кожного інтервалу, то створюється ламана крива, яка називається *емпіричною кривою розподілу*, або *полігоном розподілу*. При значній кількості виміряних заготовок і великій кількості інтервалів розмірів ламана емпірична крива наближається за формою до плавної кривої, яка називається *кривою розподілу*.

За формою емпіричної кривої приймають гіпотезу про теоретичний закон розподілу досліджуваного параметра.

6. За прийнятою гіпотезою визначають основні параметри емпіричного розподілу.

7. На основі емпіричного розподілу та його параметрів порівнюють емпіричний розподіл з теоретичним, тобто визначають теоретичні частоти і будують теоретичну криву.

Приблизно можна вважати, що:

$$Y \approx \frac{m_i^T}{n \cdot d} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\overline{X})^2}{2\sigma^2}}, \qquad (2.7)$$

де m_i^T – теоретична частота;

d – ширина (ціна) інтервалу;

n – число вимірювань (число деталей у вибірці).

З рівняння (2.7) маємо:

$$m_i^T = \frac{nd}{\sigma}\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\overline{X})^2}{2\sigma^2}}. \qquad (2.8)$$

Якщо у вираз (2.8) підставити нормований параметр розподілу $t = \frac{(x - \overline{X})}{\sigma}$, то отримаємо:

$$m_i^T = \frac{nd}{\sigma}\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}.$$

Позначимо $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} = Z_t$ і враховуючи, що σ = S, формула (2.8) набуде вигляду:

$$m_i^T = \frac{nd}{S} Z_t. \qquad (2.9)$$

Величина Z_t обчислена для різних значень t і наведена в [7, додаток 1].

Значення t для кожного інтервалу розмірів знаходять за формулою:

$$t = \frac{(x_i - \overline{X})}{S}, \qquad (2.10)$$

де x_i – середина і-го інтервалу.

Таким чином, для підрахунку теоретичних частот необхідно для кожного інтервалу розмірів за формулою (2.10) визначити значення t [7, додаток 1],визначити Z_t і потім скористатись формулою (2.9).

Необхідно відмітити, що теоретична крива нормального розподілу може бути побудована за характерними точками. Координати характерних точок кривої

нормального розподілу наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Характерні точки кривої нормального розподілу

Характерна точка	Абсциса	Ордината
Вершина кривої	X	$m_{i_x}^T = 0{,}4\frac{nd}{S}$
Точка перегину	X±S	$m_{i_S}^T = 0{,}24\frac{nd}{S}$
Характерна точка	X±2S	$m_{i_{2S}}^T = 0{,}054\frac{nd}{S}$
Характерна точка	X±3S	$m_{i_{3S}}^T = 0$

Далі потрібно перевірити відповідність емпіричного розподілу теоретичному нормальному.

8. Перевірка відповідності емпіричного розподілу теоретичному нормальному.

Для перевірки відповідності емпіричного розподілу теоретичному існує ряд критеріїв, з яких найбільше практичне застосування мають критерій λ А.Н. Колмогорова і критерій χ^2 Пірсона.

Розглянемо розподіл за критерієм χ^2.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{f} \frac{\left(m_i - m_i^T\right)^2}{m_i^T}, \qquad (2.11)$$

де f – число розрядів (інтервалів);

m_i, m_i^T – відповідно емпірична і теоретична частоти і-го інтервалу значень X.

Для зручності обчислення χ^2 доцільно використовувати табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Дані для розрахунку χ^2

Інтервали розмірів		m_i	m_i^T	$(m_i - m_i^T)$	$(m_i - m_i^T)^2$	$\frac{\left(m_i - m_i^T\right)^2}{m_i^T}$
від	до					
1	2	3	4	5	6	7

При визначенні критерію необхідно, щоб частота була не менше 5. Якщо в будь-якому інтервалі частота буде менше п'яти, то необхідно цей інтервал об'єднати з сусіднім.

Потім необхідно знайти число К за формулою:

$$K = m - p - 1,$$

де p – число параметрів теоретичного розподілу (для нормального розподілу p = 2):

$$K = m - 2 - 1 = m - 3.$$

За таблицею [7, додатку Б], за знайденими значеннями χ^2 і К визначається ймовірність $p(\chi^2)$. Якщо буде виконуватись нерівність $p(\chi^2) > 0{,}05$, то можна вважати, що емпіричний розподіл відповідає теоретичному (нормальному) і можна використовувати його закономірності для аналізу точності обробки.

2.4.4. Інші закони розподілу

Закон рівної ймовірності

Якщо розсіювання розмірів залежить тільки від змінних систематичних похибок (наприклад, від зношування різального інструменту), то розподіл дійсних розмірів партії оброблених заготовок підкоряється закону *рівної ймовірності*.

При сталому процесі різання зношування різального інструмента відбувається за законом прямої лінії. Отже, за цим законом буде відбуватись і зміна розмірів заготовки (рис. 2.9, *а*). А це означає, що в будь-який проміжок часу ми будемо мати однакову (постійну) кількість заготовок, тобто щільність ймовірності $\varphi(x) = \text{const}$, і розподіл щільності ймовірності графічно буде зображуватись у вигляді прямокутника з основою ав і висотою $\varphi(x) = \text{const}$ (рис. 2.9, *б*).

При інтервалі зміни випадкової величини X від а до в:

$$p(a < X < в) = \int_{a}^{в} \varphi(x)dx = 1,$$

тобто ймовірність того, що випадкова величина *X* при дослідженнях буде приймати значення в інтервалі від а до в, дорівнює площі під диференціальною кривою розподілу. У відповідності з рисунком 2.9, *б* ця площа представляє собою прямокутник з основою ав і висотою $\varphi(x)$. Отже:

$$(в - а)\cdot\varphi(x) = 1.$$

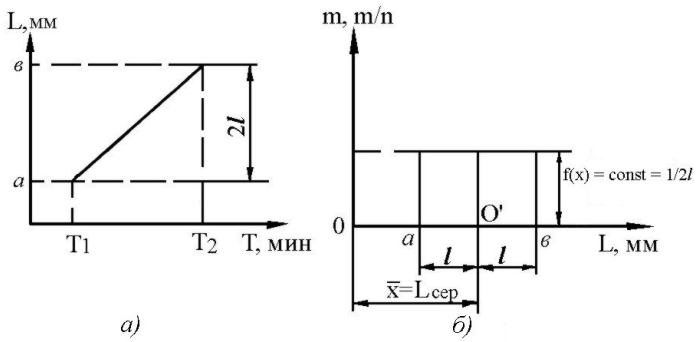


Рис. 2.9. Розподіл розмірів оброблених заготовок за законом рівної імовірності

Звідси рівняння диференціальної функції розподілу чи щільності ймовірності буде мати вигляд:

$$\left.\begin{aligned} \varphi(x) &= \frac{1}{в - а} \text{ при } а \le X \le в, \\ \varphi(x) &= 0 \text{ при } X > в;\ X < а \end{aligned}\right\}. \qquad (2.12)$$

Закон рівної ймовірності має два параметри: $M_x \approx \overline{X}$ і σ^2, які згідно з

формулами:[7, (4), (8)].

$$M_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x\varphi(x)dx ,$$

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x)(x - M_x)^2 dx$$

будуть дорівнювати:

$$M_x = \overline{X} = \int_a^в x\varphi(x)dx = \frac{1}{в-a}\int_a^в xdx = \frac{в+a}{2}; \qquad (2.13)$$

$$\sigma^2 = \int_a^в (x - м_x)^2 \varphi(x)dx = \frac{1}{в-a}\int_a^в \left(x - \frac{в+a}{2}\right)^2 dx = \frac{(в-a)^2}{12}; \qquad (2.14)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(в-a)^2}{12}} = \frac{в-a}{2\sqrt{3}} = \frac{2\ell}{2\sqrt{3}} = 0{,}577\ell , \qquad (2.15)$$

де $\ell = \frac{в-a}{2}$ – зміна розміру оброблюваної заготовки.

Фактичне поле розсіяння з формули (2.15) дорівнює:

$$\Delta_p = 2\ell = 2\sigma\sqrt{3} = 3{,}46\sigma . \qquad (2.16)$$

Закон рівної ймовірності розповсюджується на розподіл розмірів заготовок підвищеної точності (56 квалітет і вище) при їх обробці за методом пробних ходів. Через складність отримання розмірів дуже високої точності ймовірність попадання розміру заготовки у вузькі границі допуску за середнім, найбільшим чи найменшим його значенням стає однаковою.

Закон трикутника (закон Сімпсона)

У тому випадку, коли розмір x інтенсивно зростає на початку різання (інтенсивне зношування інструмента, його припрацювання), потім його ріст сповільнюється (сталий період зношування інструмента) і знову збільшується (в кінці стійкості різального інструменту), що показано на рис. 2.10, *а*, крива розподілу розмірів, яка показана на рис. 2.10, *б*, відповідає *закону трикутника* (закону Сімпсона), який представляє собою поєднання двох незалежних випадкових величин, розподілу розмірів яких підлягає закону рівної ймовірності.

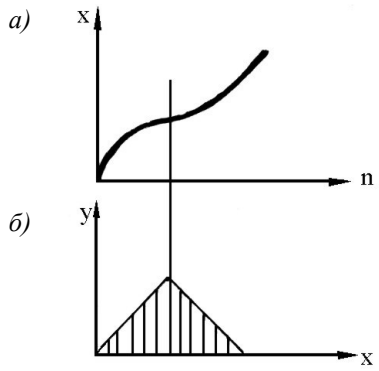


Рис. 2.10. Розподіл за законом трикутника

Закон застосовується при обробці заготовок з точністю 7-го, 8-го, а в деяких випадках і 6-го квалітетів поля розсіювання:

$$\Delta_p = 2\sqrt{6}\sigma = 4{,}9\sigma . \qquad (2.17)$$

Закон ексцентриситету (закон Релея)

Закон розподілу ексцентриситету чи закон Релея має місце при відхиленнях ексцентриситету осей чи биття поверхонь деталей, які є безперервними випадковими величинами. Ці похибки є додатними величинами, вони змінюються від нуля до певного значення. Крива розподілу ексцентриситетів R ступінчастих циліндричних деталей показана на рис. 2.11, *б*. Вона має несиметричну форму, деталей з нульовим ексцентриситетом немає, більша частина деталей має середній ексцентриситет, деталей з великим ексцентриситетом мало.

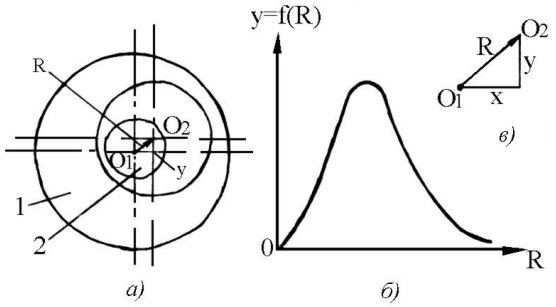


Рис. 2.11. Утворення ексцентриситету (радіуса-вектора) втулки 1 при її обробці на циліндричній оправці 2 при різниці зазору між оправкою та отвором втулки (а) і функція y = f(R) розподілу розмірів за законом Релея (б)

Закону ексцентриситету (закону Релея) підкоряється також розподіл значень

непаралельності та неперпендикулярності двох поверхонь, різностінність порожнистих деталей (при нефіксованій площині вимірювання).

Цей закон одно параметричний, і рівняння його розподілу має вигляд:

$$\varphi(R) = \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}, \qquad (2.18)$$

де R – змінна величина ексцентриситету чи биття:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2};$$

x і y – координати точки кінця R (рис. 2.11, *а*, *в*).

σ – середнє квадратичне відхилення значень координат x і y, які мають однаковий розподіл за нормальним законом. Тому $\sigma = \sigma_x = \sigma_y$ (а розподіл R – не є нормальним).

Зв'язок між σ_R, $\overline{R}$ і σ виражається наступними залежностями:

$$\overline{R} = \sigma\sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1{,}26\sigma; \qquad (2.19)$$

$$\sigma_R = \sigma\sqrt{2 - \frac{\pi}{2}} = 0{,}655\sigma. \qquad (2.20)$$

Фактичне поле розсіювання значень змінної величини радіуса-вектора R (ексцентриситету, різностінності, непаралельності тощо) знаходять з виразів:

$$\Delta_p = 5{,}252\sigma_R; \qquad (2.21)$$

$$\Delta_p = 3{,}44\sigma. \qquad (2.22)$$

Функція розподілу a(t)

У більшості випадків механічної обробки заготовок на настроєних верстатах на точність їх розмірів одночасно впливає велика кількість близьких за величиною і незалежних одна від одної випадкових причин, які обумовлюють розподіл розмірів за законом Гаусса, і змінних систематичних похибок, що виникають внаслідок рівномірного зношування різального інструменту, які визначають розподіл за законом рівної ймовірності або іншим (наприклад, степеневим) законом.

У подібних випадках зміна досліджуваної величини X_t залежить від часу і сама функція може бути подана в загальному вигляді на деякий момент часу t виразом:

$$X_t = \sum_{i=1}^{n} y_i + C_t, \qquad (2.23)$$

де y_i – незалежні або слабо залежні випадкові величини;

C_t – сума значень постійно діючих факторів, яка відповідає моменту часу t.

Композиція законів Гаусса і рівної ймовірності створює криві розподілу різної форми, які залежать від ступеня дії на кінцевий розподіл кожної зі складових законів. Для розрахунків точної обробки заготовок при подібній композиції законів розподілу зручно користуватись розробленою професором Н.А. Бородачовим функцією розподілу a(t).

Функція a(t) формується законом Гаусса з його параметрами σ і $\overline{X}$, які залежать від точності виду обробки і технологічної системи, і законом рівної ймовірності з параметрами:

$$\ell = \frac{в - а}{2},$$

на величину поля розсіювання якого впливає швидкість та тривалість процесу (у випадку зношування інструменту ℓ визначається питомим зношуванням і тривалістю різання).

Таким чином, функція a(t) відображає не тільки точність, але і тривалість процесу обробки.

Функцію a(t) можна розглядати як результат рівномірного зміщення в часі вершини кривої Гаусса із середнім квадратичним σ на величину параметра 2ℓ кривої розподілу закону рівної ймовірності. На рис. 2.12 показано криву a(t), яка для деякого моменту часу t виражається формулою:

$$a(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - a_0 - C_t)^2}{2\sigma^2}}, \qquad (2.24)$$

де σσ – середнє квадратичне відхилення закону нормального розподілу, який визначає функцію a(t);

a_0 – середнє арифметичне значення розміру у початковий момент часу.

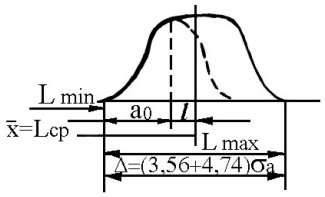


Рис. 2.12. Крива функції a(t)

Форма кривої розподілу функції a(t) залежить від параметра λ_a, який визначається за формулою:

$$\lambda_a = \frac{\ell}{\sigma}. \qquad (2.25)$$

Лінійну функцію a(t) можна подати у вигляді:

$$a(t) = a_o + 2\ell t = a_o + 2\lambda_a \sigma t. \qquad (2.26)$$

Середнє арифметичне значення розміру функції дорівнює:

$$\overline{X} = L_{сер} = a_o + \ell = a_o + \lambda_a \sigma, \qquad (2.27)$$

а середнє квадратичне відхилення σ_a функції a(t):

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \frac{\ell^2}{3}} = \sigma\sqrt{1 + \frac{1}{3}\lambda_a^2}. \qquad (2.28)$$

На рис. 2.13 подано сім'ю нормованих кривих розподілу лінійної функції a(t) при різних значеннях λ_a.

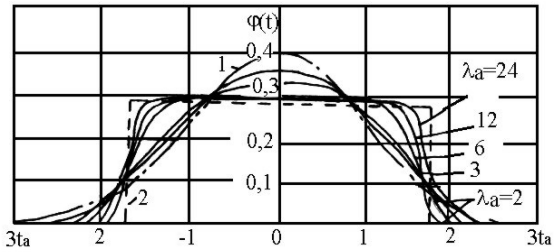


Рис. 2.13. Сім'я нормованих кривих розподілу лінійної функції a(t) *при різних значеннях* λ_a

Усі криві симетричні, мають плоскі вершини і змінюють свій вигляд від кривої 1 нормального розподілу Гаусса (при $\ell \to 0$ і $\lambda_a = 0$) до прямокутника 2 розподілу рівної ймовірності при $\lambda_a = \infty$ і $\sigma \to 0$.

Поле розсіювання Δ_p розмірів при функції розподілу a(t) залежить від параметра λ_a наступним чином:

λ_a	3	6	10	24
Δ_p	$4{,}74\sigma_a$	$4{,}14\sigma_a$	$3{,}76\sigma_a$	$3{,}56\sigma_a$

При виконанні технологічних процесів доводиться зустрічатись також зі зміною величин випадкових факторів, коли питома вага деяких із них за окремі проміжки часу підсилюється, починає домінувати над іншими, наприклад, збільшення коливання величини припуску на обробку через включення в партію заготовок, одержаних із значними коливаннями припуску внаслідок похибок початкових заготовок. При цьому форма кривої розподілу не змінюється, але змінюється величина поля розсіювання.

2.4.5. Композиції законів розподілу і підсумовування похибок

При обробці заготовок на точність їх розмірів часто одночасно діють різні фактори, які викликають появу як випадкових похибок, створюваних за різними законами, так і систематичних або змінних систематичних похибок. У подібних випадках закон розподілу розмірів оброблюваних заготовок представляє собою композицію декількох законів розподілу.

Систематичний постійний фактор (похибка) на форму кривої розподілу не впливає, зсуває центр групування відносно середини поля допуску або відносно розрахункового настроювального розміру на свою величину, в бік свого знака (рис. 2.14, *б*, *в*). Прикладом може бути розвертання отворів у однієї половини партії заготовок розверткою діаметром 20 мм, у другої – діаметром 20,08 мм ($\Delta_{сист.} = \pm 0{,}08$ мм). Аналогічна ситуація буде при двох різних настроюваннях технологічної системи. У таких випадках поле сумарного розсіювання розмірів заготовок визначається з виразу:

$$\Delta_p = 6\sigma + \Delta_{сист.} \qquad (2.29)$$

Якщо при цьому крива розсіювання будується за значеннями вимірювань без

врахування систематичної похибки (наприклад, коли вимірюється вся партія заготовок, оброблених з декількох настроювань), форма загальної кривої розсіювання викривлюється і відрізняється від форми кривої Гаусса (крива має декілька вершин різної висоти відповідно до числа настроювань та кількості заготовок, оброблених з кожного настроювання (рис. 2.14, *в*, *г*)).

При обчисленні сумарної похибки обробки систематичні похибки складаються алгебраїчно, тобто із врахуванням їх знаків. Внаслідок цього результат підсумовування може показати не тільки збільшення, але й зменшення загальної похибки у зв'язку з взаємною компенсацією впливу складових похибок. Наприклад, подовження різця у зв'язку з його нагріванням, що зменшує діаметр обточуваного вала, може скомпенсувати вплив зношування різця, що викликає збільшення діаметра обробки.

Систематична похибка із випадковою похибкою складається арифметично у відповідності з формулою (2.29).

Випадкові похибки, які не підкоряються закону Гаусса, за відсутності домінуючої похибки підсумовуються геометрично, тобто:

$$\Delta_p = \sqrt{(K_1\Delta_1)^2 + (K_2\Delta_2)^2 + \cdots + (K_n\Delta_n)^2}\ , \qquad (2.30)$$

де $\Delta_1, \Delta_2,\ldots,\Delta_n$ – поля розсіювання випадкових похибок, що підсумовуються;

$K_1, K_2,\ldots,K_n$ – коефіцієнти відносного розсіювання випадкових величин.

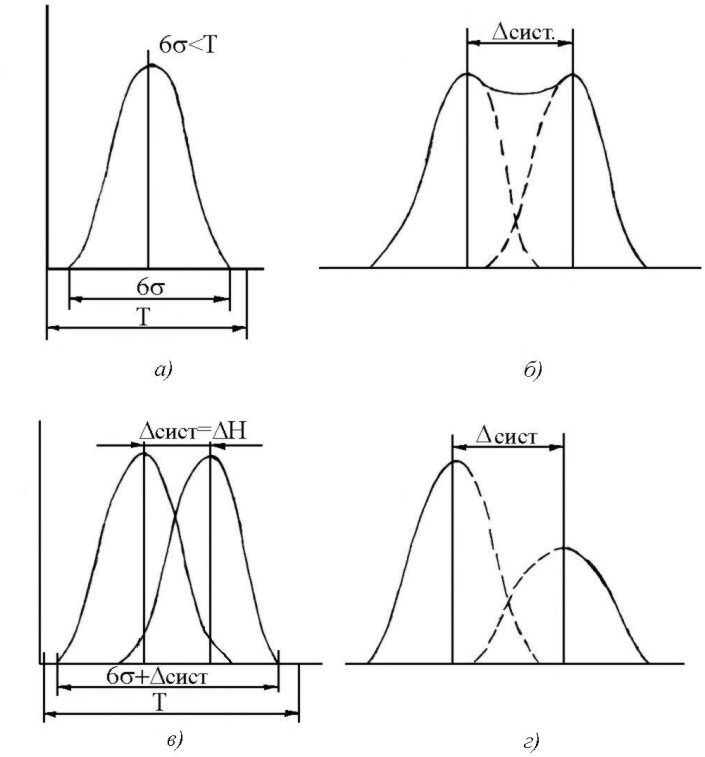


Рис. 2.14. Зміна форми сумарної кривої розсіювання під впливом систематичної похибки при обробці декількох партій заготовок з піднастроюванням верстата

Коефіцієнт відносного розсіювання K_i показує, у скільки разів відрізняється фактичне розсіяння значень і-ої похибки від величини розсіяння цієї похибки при її нормальному розподілі з тим же значенням.

Для закону нормального розподілу К = 1, для закону Сімпсона К = 1,2, для закону рівної ймовірності К = 1,73.

В теорії ймовірності встановлено, *що за відсутності домінуючих похибок*, *розсіювання сумарної похибки підкоряється закону Гаусса* незалежно від законів розподілу складових похибок.

Коли всі похибки, що підсумовуються, підкоряються закону Гаусса ($K_1 = K_2 = \ldots = 1,0$), поле розсіювання сумарної похибки дорівнює:

$$\Delta_p = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2} \ . \qquad (2.31)$$

У звичайних умовах обробки на налагоджених верстатах і за відсутності помітного впливу зношування інструменту розподіл більшості складових похибок підкоряється закону Гаусса і можна було б прийняти К = 1,0. Проте, для того щоб врахувати можливий на практиці відхід розподілу окремих складових від закону Гаусса, в розрахунках за формулою (2.31) часто приймають (для створення деякої гарантії точності) значення К = 1,2, що відповідає розподілу за законом Сімпсона, тобто:

$$\Delta_p = 1{,}2\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \ldots + \Delta_n^2} \ . \qquad (2.32)$$

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що розуміють під якістю промислової продукції?
2. Сформулюйте визначення технічних умов на машину.
3. Перелічіть основні групи показників якості машин та дайте їх коротку характеристику.
4. Що розуміють під точністю деталі?
5. Що розуміють під точністю машини?
6. Дайте визначення поняття “допуск параметра якості”. Як встановлюються оптимальні допуски?
7. Дайте визначення економічної та досяжної точності обробки. Що представляють собою “таблиці економічної точності”?
8. Охарактеризуйте методи досягнення заданої точності розміру деталі.
9. Що розуміють під точністю складання? Якими причинами викликаються похибки складання?
10. Охарактеризуйте методи досягнення точності при складанні.
11. Охарактеризуйте роль контролю точності при виготовленні машин. Яким випробовуванням піддаються машини?
12. Що розуміють під “розсіянням характеристик якості виробів” та під “законом розподіле розмірів заготовок”?
13. Охарактеризуйте закон нормального розподілу, його основні параметри, умови прояву та застосування.
14. Викладіть етапи побудови кривої нормального розподілу та дайте їх коротку

характеристику.

15. Як розраховується теоретична частота при розподілі за нормальним законом?

16. За якими критеріями перевіряється відповідність емпіричного розподілу теоретичному?

17. В яких умовах проявляється та застосовується розподіл за законом “рівної ймовірності”? Основні параметри цього закону.

18. В яких умовах проявляється та застосовується розподіл за законом “трикутника”, основні параметри цього закону.

19. В яких умовах проявляється та застосовується розподіл за законом “ексцентриситету”? Основні параметри цього закону.

20. Охарактеризуйте функцію Бородачова a(t), умови її прояву та застосування.

21. Порівняйте закон нормального розподілу, закон рівної ймовірності та функцію a(t). Що в них спільного? В чому відмінність? Особливості їх застосування.

22. Назвіть основні параметри функції a(t).

23. Сформулюйте правила підсумовування похибок при обробці, наведіть приклади як при цьому змінюються криві розподілення.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: М., 1969. – 559 с.

2. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К. 1993. – 544 с.

3. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М., 1985. – 496 с.

4. Методичні вказівки і завдання для індивідуальної роботи з основ технології машинобудування під контролем викладача. – ЧІТІ, 1993.

5. Основы технологии машиностроения / Под ред. В.С Корсакова. – М.М., 1977. – 416 с.

6. Руденко П.А. Теоретические основы технологии машиностроения: Конспект лекций. – Чернигов, 1986. – 258 с.

7. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.М., 1972. – 216 с.

8. Технология машиностроения (специальная часть). / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук., И.М. Колесов и др. – М.М., 1986. – 480 с.

Тема 3. Теорія розмірних зв'язків у виробах машинобудування. Побудова, розрахунок та аналіз розмірних ланцюгів

3.1. Загальні положення розмірних зв'язків

3.1.1. Види поверхонь деталей та зв'язків між ними

Побудова машини здійснюється шляхом з'єднання деталей. За функціями, які виконують різні поверхні деталей у машині, їх можна поділити на 4 види: виконавчі поверхні, основні та допоміжні бази і вільні поверхні.

Виконавчі поверхні – це поверхні або їх з'єднання, за допомогою яких машина виконує службове призначення.

У токарного верстата (рис. 3.1) – це передній кінець шпинделя, конус пінолі задньої бабки, поверхні різцетримача. Поверхні 1 і 2 (рис. 3.1) призначені для базування патрона, поверхня 3 – для переднього центра при обробці в центрах, поверхня 4 – для заднього центра, поверхні 5 і 6 визначають положення різця відносно оброблюваної поверхні і безпосередньо передають йому необхідний для обробки рух.

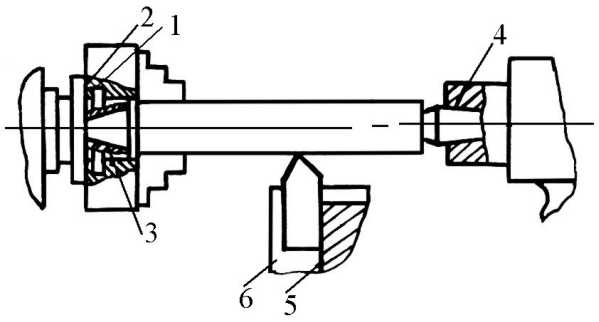


Рис. 3.1. Види поверхонь на прикладі токарного верстата

У шпинделя поряд з поверхнями 1–3 виконавчими поверхнями є підшипникові шийки, їх торці, бічні поверхні шліців або шпонкових пазів, за допомогою яких шпиндель виконує своє службове призначення, у зубчастого колеса – отвір, один із торців маточини, бічна поверхня шпонкового паза, бічні поверхні зубців.

Основні бази – поверхні деталі, які визначають її положення у виробі.

У вала ступеня редуктора (рис. 3.2) – це підшипникові шийки 1, 2 і торець 3, у зубчастого колеса – отвір 4, торець 5 і бічна поверхня шпонкового паза, у кришки – циліндрична центруюча поверхня 7, її торець 6 і поверхня одного з отворів для пропускання болтів кріплення кришки.

Допоміжні бази – поверхні деталі, які визначають положення приєднуваних до даної деталі всіх інших деталей.

У корпусу – це отвори під підшипники, у вала – шийка 4, торець 5, шпонкові пази для колеса і напівмуфти, шийка 8 і торець 9.

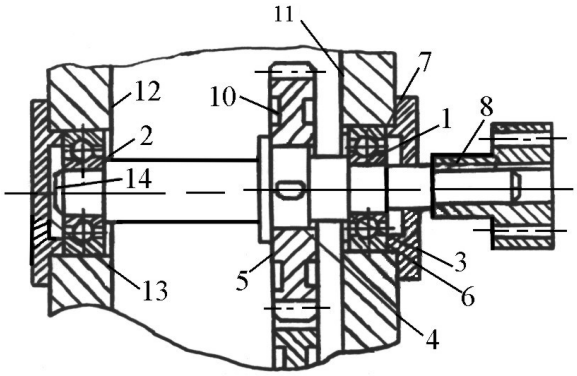


Рис. 3.2. Види поверхонь на прикладі вузла редуктора

Вільні поверхні – поверхні деталі, які при роботі в машині не контактують з поверхнями інших деталей.

Вільні поверхні допомогають раніше розглянутим поверхням надати деталі потрібних конструктивних форм, які вимагаються їх службовим призначенням.

Приклади вільних поверхонь: у корпусі – поверхні 11, 12, поверхня 13 кришки, торець 14 вала, поверхня 10 зубчастого колеса і та ін.

Для того щоб виконавчі поверхні машини та її механізми мали можливість рухатись та займати відносне положення, необхідно з'єднати деталі машин, які їх несуть, двома типами інших деталей.

До першого типу відносяться всі деталі, які виконують функції ланок кінематичних ланцюгів машини та її механізмів.

До другого типу відносяться деталі, які використовуються для з'єднання та забезпечення відносного положення перших.

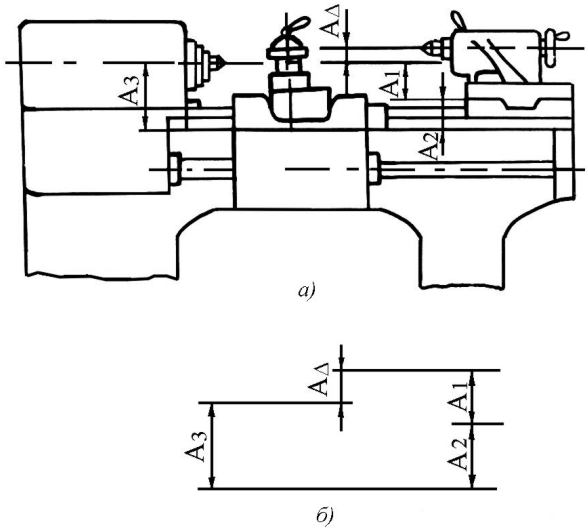


Рис. 3.3. Конструкційний розмірний ланцюг: а) схема розмірного виду зв'язку; б) схема розмірного ланцюга

Відповідно при складанні машини утворюються два види зв'язків між виконавчими поверхнями: кінематичний і розмірний. Розмірний, у свою чергу, поділяється на два підвиди: перший визначає відстань, другий – повороти поверхонь.

Відстані та повороти виконавчих поверхонь утворюються за допомогою розмірів, які належать цілому ряду деталей.

У загальному випадку всі незалежні, розташовані по замкненому контуру один за одним розміри прийнято називати розмірними ланцюгами [1]. Приклади розмірних ланцюгів показані на рис. 3.3–3.5.

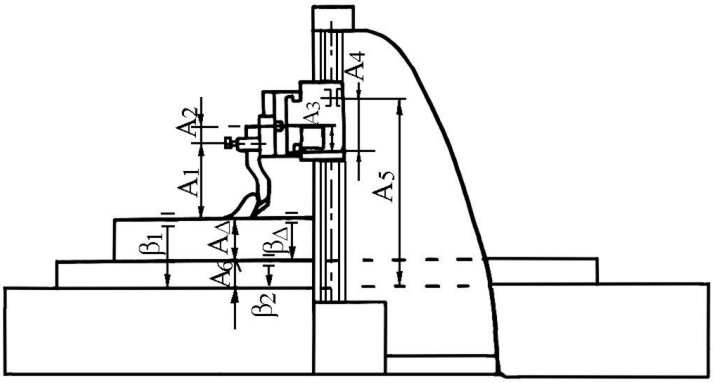


Рис. 3.4. Технологічний розмірний ланцюг

Для забезпечення точності розмірних зв'язків машин використовується теорія розмірних ланцюгів.

Використання теорії розмірних ланцюгів дозволяє знаходити економічні шляхи вирішення завдань, пов'язаних з досягненням і збереженням потрібної точності технологічного процесу.

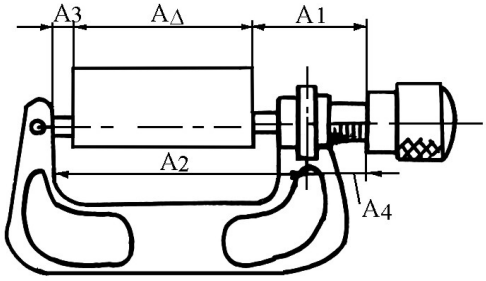


Рис. 3.5. Вимірювальний розмірний ланцюг

3.1.2. Основні поняття та визначення

Розмірним ланцюгом називається сукупність розмірів, що безпосередньо беруть участь у розв'язанні поставленої задачі і утворюють замкнений контур [2].

Лінійні розмірні ланцюги позначаються великими літерами українського алфавіту, кутові – літерами грецького алфавіту. Для спрощення розв'язання розмірних ланцюгів вони зображуються графічно у вигляді розмірних схем (рис. 3.6).

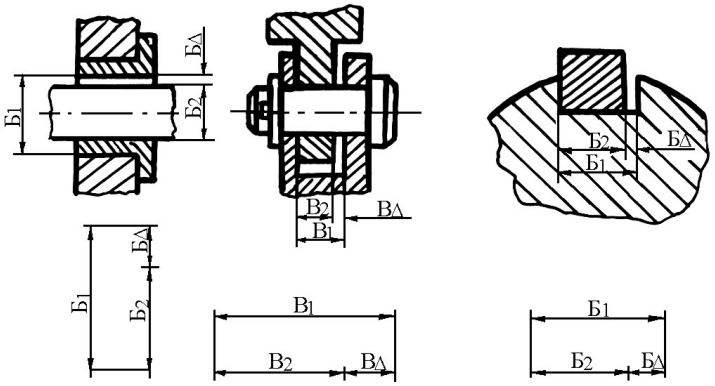


Рис. 3.6. Розмірні ланцюги та їх схеми

Розмірний ланцюг складається із замикальної ланки та складових.

Замикальна ланка – це ланка розмірного ланцюга, яка є вихідною при формулюванні задачі, або одержується останньою в результаті розв'язання (в тому числі при виготовленні та вимірюваннях).

Таким чином, замикальна ланка складального розмірного ланцюга – це ланка, яка з'являється в результаті складання, тобто замикальна ланка технологічного розмірного ланцюга – це ланка, яка безпосередньо в даній операції не забезпечується, а є функцією всіх складових ланок даного розмірного ланцюга.

На робочих кресленнях розмір замикальної ланки не проставляється, оскільки вона одержується в результаті виконання розмірів, вказаних на кресленні.

Складовою ланкою розмірного ланцюга називається ланка розмірного ланцюга, із зміною якої змінюється замикальна ланка. Складові ланки розмірного ланцюга нумеруються послідовно в напрямку обертання годинникової стрілки, починаючи з ланки, сусідньої із замикальною.

Складові ланки розмірного ланцюга поділяються на збільшувальний і зменшувальний. *Збільшувальною* називається складова ланки розмірного ланцюга, зі збільшенням якої замикальна ланка збільшується. *Зменшувальною ланкою* розмірного ланцюга називається складова ланки, зі збільшенням якої замикальна ланка зменшується.

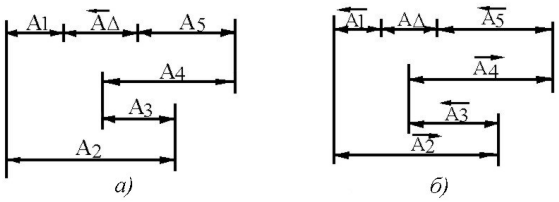


Рис. 3.7. Визначення характеру ланок розмірного ланцюга

Рекомендується збільшувальні ланки позначати стрілками над відповідною розмірною літерою, спрямованою праворуч, а зменшувальні – стрілками ліворуч (рис. 3.7, *б*).

Компенсуючою ланкою розмірного ланцюга є ланка цього розмірного ланцюга, зміною якої при складанні досягається потрібна точність замикальої ланки. Визначається вона як складова ланка, але з додаванням індексу *К*. На розрахункових схемах може заключатися у прямокутну рамку.

3.1.3. Класифікація розмірних ланцюгів

Розмірні ланцюги класифікуються за наступними ознаками:

1. *За сферою застосування:*

- конструкторські (рис. 3.3);
- технологічні (рис. 3.4);
- вимірювальні (рис. 3.5).

2. *За місцем у виробі:*

- детальні (визначають точність відносного положення поверхонь або осей окремої деталі);
- складальні, визначають точність відносного положення поверхонь або осей деталей, які входять до складальної одиниці.

3. *За розташуванням ланок:*

- лінійні, ланки ланцюга є лінійними розмірами і розташовані на паралельних прямих;
- кутові, ланки ланцюга є кутовими розмірами, відхилення яких можуть задаватись у лінійних величинах, віднесених до умовної довжини, або в градусах (рис. 3.8 *а*, *б*);
- плоскі, ланки ланцюга розташовані довільно в одній або кількох паралельних площинах (рис. 3.8, *в*);
- просторові, ланки ланцюга розташовані довільно у просторі.

4. *За характером ланок:*

- скалярні, усі ланки є скалярними величинами;
- векторні, усі ланки є векторними величинами;
- комбіновані, частина складових ланок розмірного ланцюга – векторні величини, інші – скалярні величини.

5. *За характером взаємних зв'язків:*

- незалежні, розмірні ланцюги, які не мають спільних ланок;
- паралельно зв'язані, розмірні ланцюги (два чи більше), які мають хоча б одну спільну ланку (рис. 3.9, *а*, *б*);
- послідовно зв'язані, розмірні ланцюги, з яких кожний наступний має одну спільну базу з попереднім (рис. 3.9, *в*);
- комбіновано зв'язані, розмірні ланцюги, які мають спільні ланки та спільні бази.

Розміри деталей (як і самі деталі) в зібраному виробі взаємозв'язані. Ці взаємозв'язки зображують розмірними зв'язками, які утворюють конструкторські розмірні ланцюги.

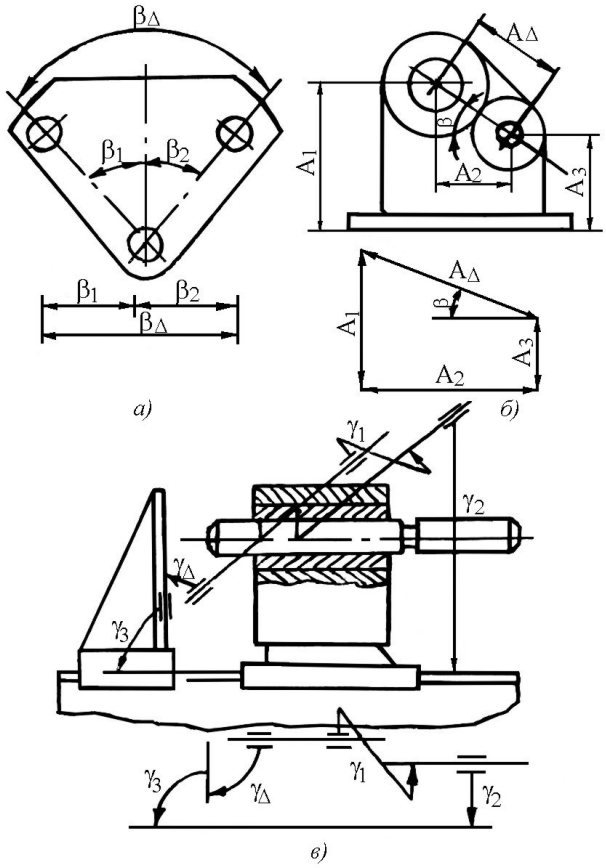


Рис. 3.8. Приклади розмірних ланцюгів: кутових (а, в) і площинного (б)

Конструкторський розмірний ланцюг – це ланцюг, який визначає відстань або відносний поворот між поверхнями або осями поверхонь деталей у виробі.

Конструкторські розмірні ланцюги можуть бути подетальними та складальними.

Розмірний ланцюг, який визначає точність відносного розташування осей і поверхонь однієї деталі, називається подетальним розмірним ланцюгом.

Розмірний ланцюг, який визначає точність відносного розташування осей і поверхонь декількох деталей у складальній одиниці, називається складальним розмірним ланцюгом.

Технологічний розмірний ланцюг – розмірний ланцюг, який забезпечує потрібну відстань або відносний поворот між поверхнями виробу при виконанні операції або ряду операцій складання, обробки, при налагодженні верстата або при розрахунку міжопераційних розмірів.

Вимірювальний розмірний ланцюг – розмірний ланцюг, який виникає при визначенні відстані або відносного повороту між поверхнями виробу, що виготовляється або вже виготовлений.

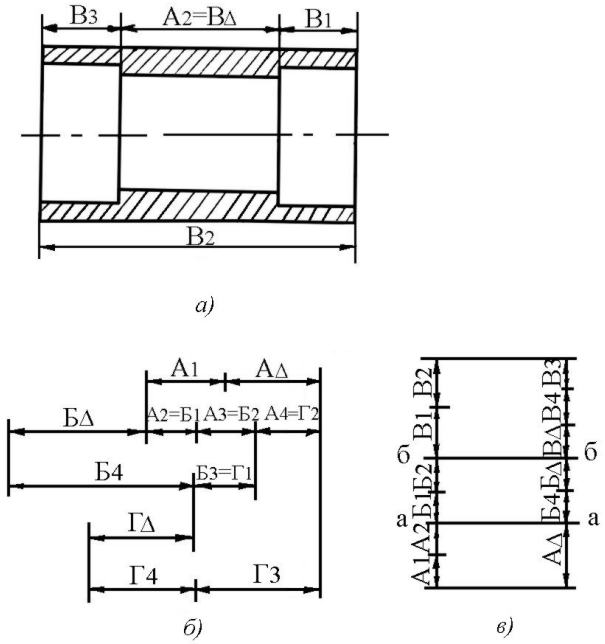


Рис. 3.9. Приклади розмірних ланцюгів: а – паралельно зв'язаний розмірний ланцюг; б – схема паралельно зв'язаного розмірного ланцюга; в – схема послідовно зв'язаного розмірного ланцюга

3.1.4. Задачі, що розв'язуються за допомогою розмірних ланцюгів

За допомогою теорії розмірних ланцюгів розв'язуються такі конструкторські, технологічні та метрологічні задачі [2]:

1. Встановлення геометричних і кінематичних зв'язків між розмірами деталей, розрахунок номінальних значень, відхилень та допусків розмірів ланцюгів.
2. Розрахунок норм точності та розробка технічних умов на машини та їх складові частини.
3. Аналіз правильності проставлення розмірів і відхилень на робочих кресленнях деталей.
4. Розрахунок міжопераційних розмірів, припусків і допусків, перерахунок конструкторських розмірів на технологічні (вибір варіанта базування).
5. Обгрунтування послідовності технологічних операцій при виготовленні та складанні виробів.
6. Обгрунтування і розрахунок необхідної точності пристроїв.
7. Вибір засобів і методів вимірювань, розрахунок точності вимірювань.

Усі задачі, що розв'язуються за допомогою розмірних ланцюгів, поділяються на два типи: задачі синтезу (пряма, проектна) та задачі аналізу (обернена, перевірна) [3, 4].

Задача синтезу. За заданим номінальним розміром і допуском (відхилення) замикальної ланки потрібно визначити номінальні розміри, допуски та граничні

відхилення всіх складових ланок розмірного ланцюга. Таку задачу відносять до проектного розрахунку розмірного ланцюга.

Задача аналізу. За встановленими номінальними розмірами, допусками та граничними відхиленнями складових ланок визначити (чи перевірити) номінальний розмір, допуск та граничні відхилення замикальної ланки. Таку задачу відносять до перевірного розрахунку ланцюга.

Основною задачею є проектна, оскільки вона дозволяє вирішувати головне завдання при конструюванні машини – визначення параметрів складових ланок, що забезпечують якість вихідної ланки машини чи деталі.

Перевірну задачу розв'язують у процесі аналізу вже спроектованої конструкції. Потреба в її розв'язанні виникає за необхідності перевірки правильності раніше виконаних розрахунків (розв'язку прямої задачі) чи прийнятих без розрахунку розмірів чи допусків.

3.2. Розрахунки розмірних ланцюгів

3.2.1. Розрахунок розмірних ланцюгів за методом максимуму-мінімуму

Метод максимуму-мінімуму базується на припущенні, що на складання надходять деталі з граничними розмірами в такому сполученні, що в розмірному ланцюзі всі збільшувальні ланки будуть мати найбільші граничні розміри, а всі зменшувальні – найменші граничні розміри, чи навпаки, в результаті чого розмір замикальної ланки буде або максимальним, або мінімальним [5].

Імовірність такого випадку дуже мала, внаслідок чого розрахунки за цим методом призводять до великих запасів точності. Це – недолік цього методу, тобто він не відображає реальну картину, примушує призначати жорсткі допуски, тому може застосовуватись в одиничному та малосерійному виробництвах, для розмірних ланцюгів невисокої точності, а якщо точність розмірного ланцюга підвищена, то він повинен мати невелику кількість ланок.

Незважаючи на ці недоліки, метод все ж таки широко застосовується завдяки таким його перевагам, як простота, наочність, мала трудомісткість обчислювальних робіт, повна гарантія від браку через неточність замикальної ланки, відсутність необхідності допускати при розрахунках хоча б невеликий відсоток ризику.

Розв'язання оберненої задачі методом максимуму-мінімуму звичайно виконується у наступній послідовності.

1. Виявлення розмірного ланцюга з креслень та складання схеми розмірного ланцюга.
2. Визначення типу складових ланок.
3. На основі схеми розмірного ланцюга та встановлених типів складових ланок складається вихідне рівняння, яке виражає залежність номінального розміру, допуску і граничних відхилень замикальної ланки від номінальних розмірів, допусків і граничних відхилень складових ланок.

Приклад за рис. 3.10

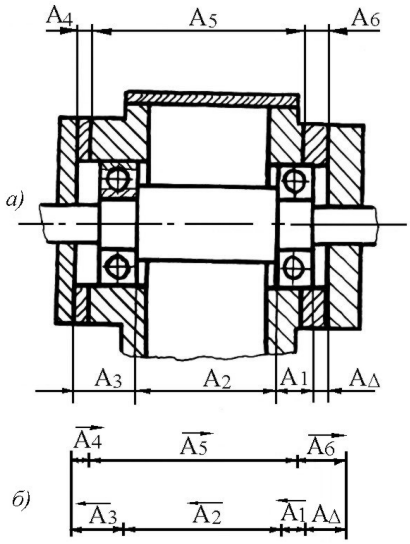


Рис. 3.10. Фрагмент механізму (а) і один з його складальних ланцюгів (б)

Визначення номіналу:

$$A_\Delta = (A_4 + A_5 + A_6) - (A_1 + A_2 + A_3).$$

У загальному видгляді:

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}_i - \sum_{n}^{m-n} \overleftarrow{A}_i . \qquad (3.1)$$

З рівняння (3.1), а також схеми (рис. 3.10):

$$A_{\Delta max} = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}_{i\,max} - \sum_{n}^{m-n} \overleftarrow{A}_{i\,min} ; \qquad (3.2)$$

$$A_{\Delta min} = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}_{i\,min} - \sum_{n}^{m-n} \overleftarrow{A}_{i\,max} . \qquad (3.3)$$

4. Визначення допуску.

Для цього потрібно встановити різницю між $A_{\Delta max}$ та $A_{\Delta min}$, тобто відняти почленно друге рівняння (3.3) від першого (3.2). Тоді будемо мати:

$$T_\Delta = \sum_{i=1}^{n} \vec{T}_i + \sum_{n}^{m-n} \overleftarrow{T}_i = \sum_{i=1}^{m-n} T_i . \qquad (3.4)$$

5. Для визначення граничних відхилень розміру замикальної ланки $\Delta в_\Delta$ та $\Delta н_\Delta$ достатньо з кожного наведеного вище рівняння (3.2) та (3.3) відповідно $A_{\Delta max}$ $A_{\Delta min}$ відняти почленно позначення відповідних номінальних розмірів, в результаті чого одержимо:

$$\Delta_{B_\Delta} = \sum_{i=1}^{n} \vec{\Delta}_{B_i} - \sum_{n}^{m-n} \overleftarrow{\Delta}_{Hi} ; \qquad (3.5)$$

$$\Delta_{Hi} = \sum_{i=1}^{n} \vec{\Delta}_{Hi} - \sum_{n}^{m-n} \overleftarrow{\Delta}_{Bi} . \qquad (3.6)$$

Граничні відхилення можна обчислити й іншим способом. Попередньо необхідно

обчислити для всіх складових ланок координати середин полів допусків.

6. Координатою середини поля допуску будь-якої і-ої ланки називається відстань середини поля допуску розміру цієї ланки до його номінального значення, яка позначається Δo_i і визначається за формулою:

$$\Delta_{Oi} = \frac{\Delta_{Bi} + \Delta_{Hi}}{2}. \qquad (3.7)$$

Якщо відомі Δo_i та T_i для розміру A_i, то його граничні відхилення дорівнюють:

$$\Delta в_i = \Delta o_i + \frac{T_i}{2}; \qquad \Delta н_i = \Delta o_i - \frac{T_i}{2}. \qquad (3.8)$$

За аналогією:

$$\Delta в_\Delta = \Delta o_\Delta + \frac{T_\Delta}{2}; \qquad \Delta н_\Delta = \Delta o_\Delta - \frac{T_\Delta}{2}. \qquad (3.9)$$

Для визначення координати середини поля допуску замикальної ланки Δo_Δ розглянемо рівняння (3.5). Проведемо заміну $\Delta в_\Delta$, $\vec{\Delta} в_\Delta$ $\overleftarrow{\Delta} н_\Delta$ відповідно на

$$\Delta o_\Delta + \frac{T_\Delta}{2};\ \vec{\Delta o_i} + \frac{\vec{T_i}}{2};\ \overleftarrow{\Delta o_i} - \frac{\overleftarrow{T_i}}{2},$$

в результаті чого одержимо:

$$\Delta o_\Delta + \frac{T_\Delta}{2} = \sum_{i=1}^{n}(\vec{\Delta o_i} + \frac{\vec{T_i}}{2}) - \sum_{n}^{m-n}(\overleftarrow{\Delta o_i} - \frac{\overleftarrow{T_i}}{2}) =$$

$$= \sum_{i=1}^{n}\vec{\Delta o_i} - \sum_{n}^{m-n}\overleftarrow{\Delta o_i} + \sum_{i=1}^{n}\frac{\vec{T_i}}{2} + \sum_{n}^{m-n}\frac{\overleftarrow{T_i}}{2}.$$

Оскільки

$$\sum_{i=1}^{n}\frac{\vec{T_i}}{2} + \sum_{n}^{m-n}\frac{\overleftarrow{T_i}}{2} = \frac{T_\Delta}{2},$$

то

$$\Delta o_\Delta = \sum_{i=1}^{n}\vec{\Delta o_i} - \sum_{n}^{m-n}\overleftarrow{\Delta o_i}. \qquad (3.10)$$

Примітка: Ці формули виведені для випадку, коли C_i (передаточне відношення) дорівнює ±1. Якщо C_i відрізняється від одиниці, його необхідно враховувати у наведених формулах, наприклад:

$$T_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1}|C_i|T_i; \qquad (3.4a)$$

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1}C_i A_i; \qquad (3.1a)$$

$$\Delta o_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1}C_i \Delta o_i. \qquad (3.10a)$$

Для використання методу максимуму-мінімуму необхідно додержуватися умов (3.4а) і (3.10а).

Для забезпечення виконання цих умов, а також для прискорення розрахунків розмірних ланцюгів використовують так звані узгоджуючі ланки (одну або декілька).

В цьому випадку допуски на граничні відхилення на всі складові ланки (крім узгоджуючих) призначають, виходячи з економічної точності, а допуск узгоджуючих

ланок визначають за формулою:

$$T_{iy} = T_i + r_T; \quad (3.11)$$

$$r_T = T_\Delta - T_{\Delta p}. \quad (3.12)$$

Іноді доводиться узгоджувати і номінали:

$$\vec{A}_{iy} = \vec{A}_y + r_A;\ \overleftarrow{A}_i = \overleftarrow{A}_y - r_A; \quad (3.13)$$

$$r_A = A_\Delta - A_{\Delta p}, \quad (3.14)$$

де r_T і r_A – величина узгодження відповідно за допуском і номіналом;

$T_{\Delta p}$ і $A_{\Delta p}$ – розрахункова величина відповідно допуску і номіналу замикальної ланки.

Як узгоджуючу ланку звичайно приймають ланку, точна обробка та вимірювання якої не створює труднощів, а розмір відносно великий.

Приклад (рис. 3.10).

$$A_\Delta = 0^{-0,1}; \qquad A_{\Delta н} = 0;$$

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}_i - \sum_{n}^{m-n} A_i;$$

$$A_\Delta = A_4 + A_5 + A_6 - A_1 - A_2 - A_3.$$

Підставимо значення складових ланок:

$$A_{\Delta p} = 5 + 100 + 5 - 17 - 75 - 17 = 1 \text{ мм};$$

$$A_{\Delta p} \neq A_{\Delta p}; \qquad 0 \neq 1;$$

$$r_A = A_\Delta - A_{\Delta p} = 0 - 1 \text{ мм}.$$

За узгоджуючу вибираємо ланку A_2. Тоді:

$$A_2 = A_2 - r_2 = 75 - (-1) = 76 \text{ мм}.$$

Розв'язання прямої задачі методом максимуму-мінімуму.

Ця задача розв'язується за допомогою методу пробних розрахунків, з яких найбільш поширені:

1) *спосіб рівних допусків*, який застосовується, якщо розміри складових ланок мають один порядок (наприклад, входять в один інтервал діаметрів) і можуть бути виконані з приблизно однаковою економічною точністю.

В цьому випадку можна приймати:

$T_{A1} = T_{A2} = \ldots = T_{m-1} = T_{серAi}$.

Тоді:

$$T_{серAi} = \frac{T_\Delta}{m-1}. \quad (3.15)$$

Після призначення допусків на складові ланки перевіряються умови застосування методу максимуму-мінімуму, визначаються узгоджуючі ланки, узгоджуються номінали та допуски, визначаються середини полів допусків та граничні значення цих полів допусків.

2) *спосіб допусків одного квалітету*, який застосовують, якщо всі розміри, що складають ланцюг, можуть бути виконані з допуском одного квалітету і допуски складових розмірів залежать від номінального значення.

Потрібний квалітет визначається наступним чином:

1) для інтервалів розмірів визначають параметр і за формулою:

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001D \quad (3.16)$$

одиниця допуску за держстандартом,

де D – середнє геометричне значення крайніх розмірів інтервалу за таблицею допусків державного стандарту, в який попадає розмір складової ланки.

Параметр *i* також можна приймати за 12.5 [2 із табл. 12.5].

2) визначають параметр α за формулою:

$$\alpha = \frac{T_\Delta - \sum_{i=1}^{nc} T_{ic}}{\sum_{i=1}^{n-n_c} i}, \qquad (3.17)$$

де n – кількість одиниць допуску, що міститься в допуску і-го розряду,

$\sum_{i=1}^{nc} T_{ic}$ – сума допусків стандартних деталей;

3) в залежності від одержаного параметра α за [2, табл. 12.6] визначають потрібний квалітет точності.

Якщо одержане число α точно збігається з табличним і відповідає 11–12 квалітетам, то на всі ланки розмірного ланцюга призначаються допуски по цьому квалітету.

Проте, найчастіше одержаний розрахунком параметр α не збігається точно з табличним. У цьому випадку приймають найближчий до нього за таблицею. Якщо α приблизно відповідає 11–12 квалітетам і вище, то по цьому квалітету призначають допуски на всі складові ланки розмірного ланцюга, крім однієї, яку називають узгоджуючою ланкою.

Допуск узгоджуючої ланки дорівнює:

$$T_y = T_\Delta - \sum_{i=1}^{m-2} T_i . \qquad (3.18)$$

Граничні відхилення для всіх ланок, крім узгоджуючої, звичайно призначають як для основних валів і отворів, що аналогічно посадкам h і H за державним стандартом, або симетричні у плюс і мінус в залежності від типу поверхонь, до яких відносяться згадані ланки-розміри.

Для визначення граничних відхилень узгоджуючої ланки необхідно попередньо обчислити координату середини поля допуску цієї ланки. Якщо узгоджуюча ланка є збільшуючою, то рівняння (3.10) можна подати у вигляді:

$$\Delta o_\Delta = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta\vec{o}_i + \Delta o_y - \sum_{n-1}^{m-n} \Delta\vec{o}_i ,$$

звідки

$$\Delta o_y = \Delta o_\Delta - \sum_{i=1}^{n-1} \Delta\vec{o}_i + \sum_{n-1}^{m-1} \Delta\vec{o}_i . \qquad (3.19)$$

Якщо узгоджуюча ланка є зменшувальною, то

$$\Delta o_\Delta = \sum_{i=1}^{n} \Delta\vec{o}_i - \Delta o_y - \sum_{n-1}^{m-2} \Delta\vec{o}_i ,$$

звідки

$$\Delta o_y = \sum_{i=1}^{n} \Delta\vec{o}_i - \sum_{n}^{m-2} \Delta\vec{o}_i - \Delta o_\Delta . \qquad (3.20)$$

За узгоджуючу може бути прийнята будь-яка складова ланки.

Граничні відхилення узгоджуючої ланки дорівнюють:

$$\Delta_{B_y} = \Delta o_y + \frac{T_y}{2}; \ \Delta_{H_y} = \Delta o_y - \frac{T_y}{2} . \qquad (3.21)$$

Якщо одержане при розрахунку число α буде відповідати 7–9 квалітету, то треба користуватись методом неповної взаємозамінності, який розраховується ймовірнісно-статистичним методом.

3.2.2. Розрахунки розмірних ланцюгів за ймовірнісним методом

Суть методу полягає в тому, що деталі за розмірами, які входять у розмірний ланцюг, обробляються з широкими (економічними) допусками, але такими, що не гарантують 100%-го одержання прийнятих відхилень замикальної ланки розмірного ланцюга. Допуски в цьому випадку встановлюють із врахуванням розсіяння розмірів. При цьому ймовірнісний вихід замикальної ланки за межі допуску звичайно приймається не більше 0,27 % [5].

Переваги ймовірнісного методу:

- більш повне та об'єктивне врахування закономірностей розподілу розмірів деталей і закономірностей складання похибок складових ланок;
- допуски розраховуються без надлишкових запасів (допуски більші на 30–40 %, а для багатоланкових – у два рази).
- Недоліки ймовірнісного методу:
- відсутність повної гарантії від браку;
- велика трудомісткість розрахункових робіт;
- точність та достовірність розрахунків залежить від точності та достовірності статистичних характеристик розподілу.

Розв'язання оберненої задачі ймовірнісно-статистичним методом [7].

В одній з теорем теорії ймовірності доводиться, що коли випадкова величина представляє собою суму великої кількості взаємно незалежних випадкових доданків, серед яких немає домінуючих за своєю величиною, то незалежно від того, яким законам розподілу підкоряються доданки, сума завжди буде мати розподіл, близький до нормального, і тим точніше, чим більша кількість доданків.

Похибка замикальної ланки і є такою випадковою величиною, що представляє собою суму випадкових похибок складових ланок. Тому похибки замикальної ланки підкоряються закону нормального розподілу і тим точніше, чим більша кількість складових ланок розмірного ланцюга. Практично вважають, що при кількості складових ланок розмірного ланцюга $m > 5$ похибки замикальної ланки достатньо близько відповідають закону нормального розподілу (рис. 3.11) [7], тобто можна записати, що $\Delta_{p\Delta} = T_\Delta = 6\sigma_\Delta$, або в загальному вигляді:

$T_\Delta = 2t\sigma_\Delta$, звідки $\sigma_\Delta = T_\Delta/6 = T_\Delta/2t$.

З теорії ймовірності відомо, що дисперсія суми випадкових доданків дорівнює сумі дисперсій цих доданків. Тому дисперсія похибок розміру замикальної ланки дорівнює [7]:

$$\sigma_\Delta{}^2 = \sum_{i=1}^{m-1} \sigma_i{}^2,$$

звідки

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \sigma i^2}. \qquad (3.22)$$

σ_i визначається із законів, за якими змінюються складові ланки.

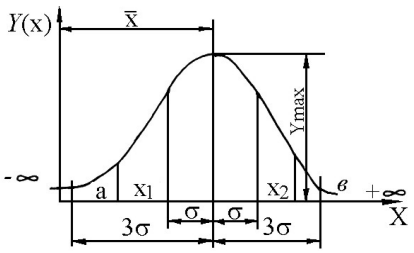


Рис. 3.11. Крива нормального розподілу (закон Гаусса)

Для того щоб при розрахунках похибок замикальної ланки можна було б врахувати будь-який закон розподілу складових ланок, А.Н. Бородачов запропонував ввести коефіцієнт відносного розсіяння K_i, який характеризує ступінь відміни розподілу похибок і-ої ланки від нормального розподілу, якому звичайно підкоряються похибки замикальної ланки.

Коефіцієнт K_i дорівнює відношенню λ_i – відносного середньо-квадратичного відхилення похибки і-ої ланки:

$$\lambda_i = \frac{\sigma_i}{0,5\Delta_i},$$

де $\lambda_н$ – відносного середньоквадратичного відхилення похибок, розподілених за нормальним законом [7]:

$$\lambda_н = \frac{\sigma_H}{0,5\Delta_{H.З}},$$

тобто

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_H} = \frac{\sigma_i \Delta_{H.З}}{\sigma_H \Delta_i}.$$

Але $\Delta_i = T_i$, $\Delta_{H.З} = T_\Delta = T_H$, $\sigma_н = \Delta_\Delta$ і $T_\Delta = 2t\sigma_\Delta$. Тому остаточно отримуємо:

$$K_i = \frac{\sigma_i T_\Delta}{\sigma_\Delta T_i} = \frac{\sigma_i 2t\sigma_\Delta}{T_i \sigma_\Delta} = \frac{2t\sigma_i}{T_i}. \qquad (3.23)$$

Звідси

$$\sigma_i = K_i \frac{T_i}{2t}.$$

Підставляючи отримане значення σ_i у рівняння (3.22), отримаємо:

$$2t\sigma_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} Ki^2 T_i^2}$$

або оскільки $T_\Delta = 2t\sigma_\Delta$:

$$T_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} Ki^2 T_i^2}. \qquad (3.24)$$

З формули (3.23) випливає, що

$$K_i = \frac{t\sigma_i}{0,5T_i} = t\lambda_i. \qquad (3.25)$$

Підставляючи отримане значення K_i в рівняння (3.24), отримаємо:

$$T_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} t^2 \lambda_i^{\,2} T_i^{\,2}} = t\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^{\,2} T_i^{\,2}} .$$

Позначимо $\lambda_i^{\,2}$ через $\lambda_i^{\,\prime}$. Тоді:

$$T_\Delta = t\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^{\,\prime} T_i^{\,2}} , \qquad (3.26)$$

де t залежить від прийнятої ймовірності находження похибок будь-якої ланки в полі допуску. При ймовірності P = 0,9973 t = 3, а відсоток виходу значень похибок за межі поля допуску складає 0,27 %. Це означає, що при складанні 0,27 % складальних одиниць не будуть складатись за методом взаємозамінності та потребують додаткової обробки деталей. Цей відсоток об'єктів, що не складаються за методом взаємозамінності, називається відсотком ризику. Чим менше t, тим більший відсоток ризику. Наприклад, при t = 2 ризик складає 4,55 %. Проте в цьому випадку можна розширити допуски на складові ланки приблизно у 1,5 рази порівняно з допусками при ризику у 0,27 %.

Залежність відсотка ризику від значення t наступна[7]:

Відсоток ризику P	32	10	4,55	1,00	0,27	0,10	0,01
Значення t	1,00	0,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Згідно з державним стандартом, величина λ′, як і К, називається коефіцієнтом відносного розсіяння і характеризує закон розподілу похибок розміру ланки розмірного ланцюга.

Значення коефіцієнтів λ′ і К для деяких законів розподілення приймаються рівними [7]:

λ′ = 1/9, К= 1 – для закону нормального розподілу;

λ′ = 1/6, К= 1,2 – для закону розподілу трикутника;

λ′ = 1/3, К= 1,73 – для закону рівної ймовірності.

Для інших законів розподілу λ′ можна обчислити за значеннями К, що наводяться в таблицях, складених професором Н.А. Бородачовим, за формулою:

$$\lambda' = \frac{K^2}{t^2} . \qquad (3.27)$$

В проектних умовах, коли закони розподілу складових ланок невідомі, звичайно приймають t = 3, а коефіцієнт λ′ = 1/6 або К = 1,2 для всіх складових ланок.

З теорії ймовірностей і математичної статистики відомо, що середнє арифметичне значення суми випадкових доданків дорівнює сумі середніх арифметичних доданків. Тому середнє арифметичне похибок замикальної ланки [7]:

$$\overline{X}_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \overline{X}_i = \sum_{i=1}^{n} \vec{X}_i - \sum_{n}^{m-n} \overleftarrow{X}_i . \qquad (3.28)$$

Якщо крива розподілу похибок будь-якої ланки симетрична, то координата середини поля допуску цієї лани збігається з X_i і $\Delta o_i = \overline{X}_i$.

Оскільки похибки замикальної ланки розподілені за симетричним законом розподілу, то (див. рис. 3.11):

$$\Delta o_\Delta = \overline{X}_\Delta . \qquad (3.29)$$

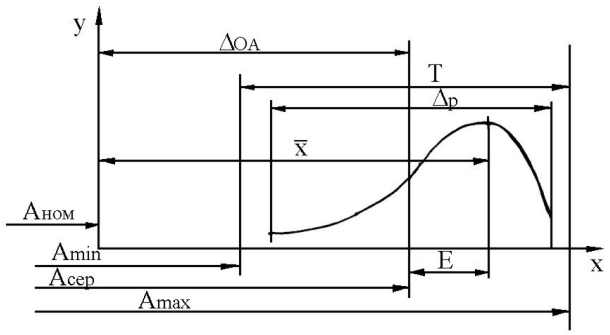


Рис. 3.12. Характеристики випадкової величини: $A_{ном}$ *– номінальний розмір;* A_{min} *– мінімальний розмір;* $A_{сер}$ *– середній розмір;* T *– допуск розміру* A*;* Δ_{OA} *– координата середини поля допуску розміру* A*;* Δ_p *– поле розсіяння розміру* A*;* $\bar{x}$ *– координата центра групування розміру* A*;* E *– зміщення центра групування від середини поля допуску*

Проте похибки розмірів складових ланок можуть бути розподілені за асиметричними законами, для яких Δo не збігається з X. Тому для асиметричних розподілів Н.А. Бородачов запропонував ввести коефіцієнт відносної асиметрії (рис. 3.12) [7]:

$$\alpha_i = \frac{\overline{X}_i - \Delta o_i}{0{,}5T_i}. \qquad (3.30)$$

З рівняння (3.30):

$$\overline{X}_i = \Delta o_i + \alpha_i 0{,}5T_i.$$

Підставляючи отримане значення X_i в рівняння (3.28) і враховуючи, що $\Delta o_\Delta = \overline{X}_\Delta$, отримаємо:

$$\Delta o_\Delta = \sum_{i=1}^{n}\left(\Delta\bar{o}_i + \alpha_i\frac{T_i}{2}\right) - \sum_{n}^{m-n}\left(\Delta\bar{o}_i + \alpha_i\frac{T_i}{2}\right) = \sum_{i=1}^{m-1} C_i\left(\Delta o_i + \alpha_i\frac{T_i}{2}\right). \qquad (3.31)$$

В проектних умовах звичайно $\alpha_i = 0$ для всіх складових ланок.

Оскільки в проектних умовах величина t завжди приймається рівною 3, то користуються формулою (3.24), а не (3.26), тобто використовують коефіцієнт K_i замість λ'_i.

Іноді для розширення допусків на розміри складових ланок ймовірнісний метод використовують і для розмірних ланцюгів з кількістю складових ланок m < 5. У цьому випадку похибки розміру замикальної ланки не підкоряються закону нормального розподілу. Тому потрібно вводити коефіцієнт K_Δ чи λ'_Δ також і на допуск замикальної ланки T_Δ. У зв'язку з цим формула для розрахунку допуску замикальної ланки набуде вигляду:

$$T_\Delta = \frac{1}{K_\Delta}\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} K_i{}^2 T_i{}^2}$$

або

$$T_{\Delta} = \frac{1}{t_{\Delta}\sqrt{\lambda'_{\Delta}}}\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1}\lambda'_i T_i^{\,2}}. \qquad (3.32)$$

Коефіцієнт K_{Δ} може бути визначений за емпіричною формулою [7]:

$$K_{\Delta} = 1 + \frac{0{,}55}{\sum_{i=1}^{m-1} C_i T_i}\left[\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} K_i^{\,2} C_i^{\,2} T_i^{\,2}} - \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} C_i^{\,2} T_i^{\,2}}\right]. \qquad (3.33)$$

У проектних умовах, коли для всіх складових ланок приймаються однакові значення $K_i = 1{,}2$, формула (3.33) набуде вигляду [7]:

$$K_{\Delta} = 1 + \frac{0{,}11\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} C_i^{\,2} T_i^{\,2}}}{\sum_{i=1}^{m-1} C_i T_i}. \qquad (3.34)$$

Передаточне відношення C_i вводиться для кутових розмірних ланцюгів і для ланцюгів з векторними похибками. За отриманими значеннями K_{Δ} можна визначити коефіцієнт λ'_{Δ} за формулою (3.27).

Зі збільшенням K_{Δ} відсоток ризику збільшується і набуває таких значень [7]:

K_{Δ}	1	1,05	1,1	1,17	1,21
Відсоток ризику P	0,27	0,5	1,0	1,5	2,0

Розв'язання задачі синтезу (прямої задачі) ймовірнісно-статистичним методом [7].

Визначення допусків і граничних відхилень на розміри складових ланок при використанні ймовірнісно-статистичного методу проводиться тими ж методами, що її при застосуванні методу максимуму-мінімуму, тобто способом рівних допусків і способом одного квалітету, але є й особливості, пов'язані з необхідністю враховувати закони розсіяння випадкових величин.

Порядок розрахунку, як правило, наступний:

1. Задаються допустимим ризиком P та визначають t за [2, табл. 12.8].
2. Визначають коефіцієнт K_i та α_i за [2, табл.12.4].
3. Визначають $\lambda_i^{\,2} = \frac{K_i^{\,2}}{t^2}$.

Вибирають відповідний метод призначення допусків на складові ланки.

Якщо прийнято метод рівних допусків, то визначають $T_{сер}$ за формулою:

$$T_{сер} = \frac{T_{\Delta}}{1{,}2\sqrt{m-1}}. \qquad (3.35)$$

Призначають допуски на складові ланки та узгоджують їх. Визначають інші параметри таким же чином, як і методом максимум-мінімум.

Якщо прийнято метод одного квалітету, то визначають параметри і та а. Параметр а визначається за формулою [7]:

$$a = \frac{1000\sqrt{T_\Delta{}^2 - \sum_{i=1}^{nc} \lambda_i{}^2 t^2 T_{ic}{}^2}}{\sqrt{\sum^{m-1-nc} t^2 \lambda_i{}^2 i_i{}^2}}. \qquad (3.36)$$

В залежності від параметра а визначається квалітет точності, за яким призначаються допуски на складові ланки і потім узгоджуються.

Як узгоджуючу ланку в цьому випадку потрібно вибирати ланку з найбільшим номінальним розміром. Якщо параметр а відповідає 11–12 квалітету, то метод неповної взаємозамінності може бути використаний, а якщо 7–9-му, то потрібно використовувати метод припасування або метод регулювання.

Допуск і граничні відхилення узгоджуючої ланки визначаються розрахунком за наступними формулами [7]:

$$T_y = \frac{1}{t\sqrt{\lambda' y}} \sqrt{T_\Delta{}^2 - t \sum_{i=1}^{m-2} \lambda' i T_i{}^2}. \qquad (3.37)$$

Якщо t = 3, то [7]

$$T_y = \frac{1}{Ky} \sqrt{T_\Delta{}^2 - \sum_{i=1}^{m-1} K_i{}^2 T_i{}^2}, \qquad (3.38)$$

де λ'у і Ку – параметри узгоджуючої ланки, аналогічні λ' і K_i

Для визначення координати середини поля допуску узгоджуючої ланки формули будуть мати вигляд [7]:

а) узгоджуюча ланка – збільшуюча:

$$\Delta o_y = \Delta o_\Delta = -\sum_{i=1}^{n-2} \left(\overrightarrow{\Delta o_i + \alpha_i \frac{T_i}{2}} \right) - \sum_{n}^{m-n} \left(\overleftarrow{\Delta o_i + \alpha_i \frac{T_i}{2}} \right) - \alpha_y \frac{T_y}{2} + \alpha_\Delta \frac{T_\Delta}{2}; \qquad (3.39)$$

б) узгоджуюча ланка – зменшуюча:

$$\Delta o_y = \sum_{i=1}^{n} \left(\overrightarrow{\Delta o_i + \alpha_i \frac{T_i}{2}} \right) - \sum_{n}^{m-n-2} \left(\overleftarrow{\Delta o_i + \alpha_i \frac{T_i}{2}} \right) - \Delta o_\Delta - \alpha_y \frac{T_y}{2} - \alpha_\Delta \frac{T_\Delta}{2}. \qquad (3.40)$$

Граничні відхилення узгоджуючої ланки визначаються за формулами (3.21).

3.2.3. Розрахунки кутових розмірних ланцюгів

Є два види кутових розмірних ланцюгів:

- розмірний ланцюг, ланки якого виражені в градусах;
- розмірний ланцюг, ланки якого виражені у відносних одиницях (ланцюги повороту).

Перші (рис. 3.13) зображуються графічно і розв'язуються так само, як і лінійні (С = ± 1).

Другі мають особливості:

- номінальне значення завжди дорівнює нулю, тобто маємо справу лише з відхиленнями чи допусками;
- є базова довжина, за величиною вона може бути різною, як правило, приймають 100, 150, 200, 300, 500 мм;
- складність визначення характеру ланок, оскільки відсутня чітко виражена вершина ланок.

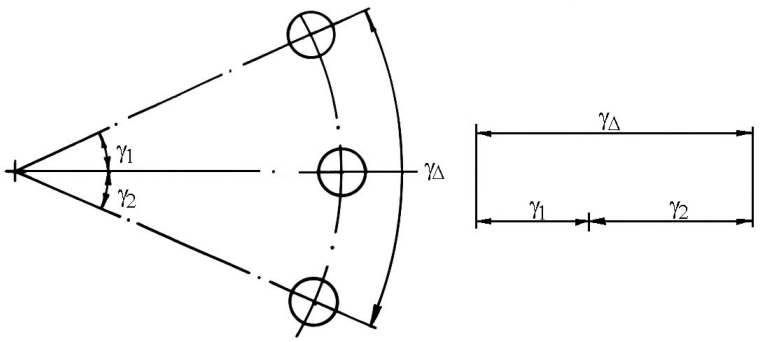


Рис. 3.13. Кутовий розмірний ланцюг, ланки якого виражені в градусах

Приклад розв'язання за [2].

1. Відхилення всіх ланок β_1 привести до однієї базової довжини ℓ_0.

Найчастіше всього за базову довжину приймають базову довжину замикальної ланки. Позначимо базову довжину замикальної ланки β_Δ через ℓ_0, а для складових ланок – β_i через ℓ_i. Нехай відхилення β_1 задано відношенням величини a_i до базової довжини: $\ell_i:\beta_i = a_i/\ell_i$.

Для приведення β_1 до базової довжини ℓ_0 потрібно обчислити передаточне відношення $K_п$:

$$K_n = \frac{\ell_0}{\ell_i}, \tag{3.41}$$

а потім, підставляючи значення ℓ_i з формули (3.41), отримаємо:

$$\beta_i = \frac{a_i K_n}{\ell_0}. \tag{3.42}$$

2. Після того, як всі ланки розмірного ланцюга будуть приведені до однієї базової довжини, знаменник ℓ_0 відкидається і розрахунки ведуться тільки за відхиленнями, вказаними у чисельнику, які розглядаються як граничні відхилення лінійних розмірів, номінальний розмір яких дорівнює нулю.

3. Для подальших розрахунків необхідно визначити допуски для всіх ланок:

$$T\beta_i = \Delta в\beta_i - \Delta н\beta_i \tag{3.43}$$

і координати середин полів допусків:

$$\Delta о\beta_i = \frac{\Delta в\beta_i + \Delta н\beta_i}{2}, \tag{3.44}$$

де $\Delta в\beta_i$, $\Delta н\beta_i$ – відповідно верхнє та нижнє граничні відхилення розміру ланки β_i.

4. Визначається допуск замикальної ланки $T\beta_\Delta$ координата середини поля допуску замикальної ланки і граничні відхилення за формулами (3.4)–(3.6) і (3.10) або (3.24), (3.26), (3.31), (3.5) і (3.6) в залежності від прийнятого методу розрахунку розмірного ланцюга.

5. Отримані значення граничних відхилень розміру β_Δ в лінійних одиницях потрібно перевести у відносні, вказавши у чисельнику отримане граничне відхилення, а в знаменнику – базову довжину.

6. Для визначення координати середини поля допуску замикальної ланки $\Delta о\beta_\Delta$ треба встановити знаки складових ланок. Оскільки розміри ланок задані не в

градусах, а в лінійних відносних одиницях, то для визначення їх знаків потрібно умовно перейти від лінійних одиниць вимірювання кутів до вимірювання в градусах і визначити знаки шляхом збільшення кутового розміру кожної складової ланки і оцінки впливу цього збільшення на кут замикальної ланки. Проте в кутових розмірних ланцюгах, що визначають паралельність чи перпендикулярність осей або поверхонь, відсутня чітко виражена вершина кута. Тому для визначення знаків таких ланок треба вибрати вершину і зафіксувати її за схемою розмірного ланцюга.

Наприклад, для силової головки агрегатного верстата (рис. 3.14) потрібно забезпечити паралельність осі I-I шпинделя напрямним М. Допустиме відхилення від паралельності не повинно перевищувати величини:

$$\beta_\Delta = \pm\frac{a}{\ell_0}.$$

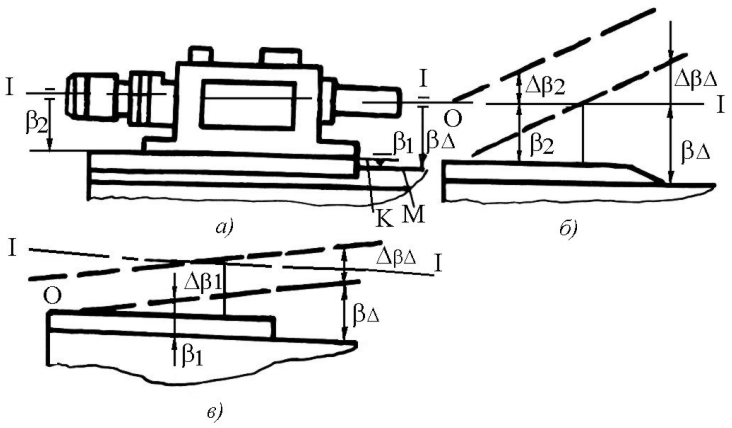


Рис. 3.14. Силова головка агрегатного верстата (а) і визначення знаку передаточного відношення ланок кутового розмірного ланцюга (б, в)

Розмір β_Δ є замикальною ланкою кутового розмірного ланцюга і залежить від двох кутових розмірів: β_1, що визначає допустиме відхилення від паралельності поверхні К відносно напрямних М і β_2, що визначає допустиме відхилення від паралельності осі I-I відносно поверхні К. Для визначення знаків ланок β_1 і β_2 виберемо умовно вершину кутів, які визначають відхилення розглядуваних поверхонь та осей від паралельності, наприклад, яка знаходиться ліворуч від головки. Треба осі і поверхні всіх ланок, крім досліджуваної, жорстко закріпити і, збільшуючи кут досліджуваної ланки, визначити за її впливом на кут замикальної ланки, якою вона є, збільшуючою чи зменшуючою. У цьому прикладі обидві ланки β_1 і β_2 є збільшуючими, тому координата середини поля допуску замикальної ланки буде рівною:

$$\Delta o\beta_\Delta = \Delta o\beta_1 + \Delta o\beta_2.$$

На рис. 3.15 [2] показано конструктивну схему (рис. 3.15, *а*) і розрахункові схеми (рис. 3.15, *б–г*), що визначають перпендикулярність робочої поверхні вертикально-свердлильного верстата до осі обертання шпинделя (в площині креслення):

γ_1 – перекіс осі шпинделя відносно осі отвору шпиндельної бабки;

γ_2 – відхилення від паралельності осі отвору шпиндельної бабки її

напрямним;

γ_3 – відхилення від перпендикулярності стола напрямним.

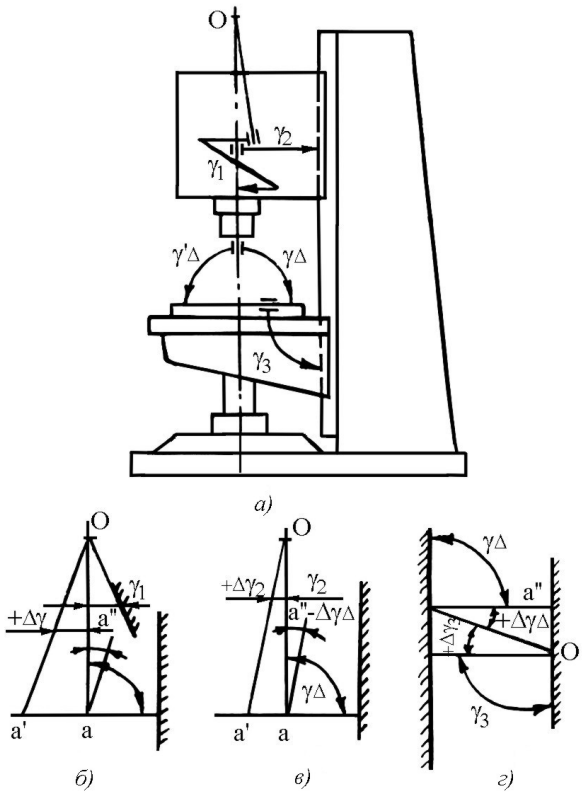


Рис. 3.15. Визначення характеру складових ланок шляхом застосування умовної вершини

Для визначення знаків складових ланок на розрахунковій схемі вибирають та фіксують вершину кута (рис. 3.15, *б*, точка 0). Далі наносять лінію, що визначає кутовий розмір γ_1, і показують замикальну ланку γ_Δ. Після цього досліджуваному розміру дають приріст кута $\Delta\gamma_1$.

З точки О проводять лінію Оа, а з точки а – лінію аа, паралельну лінії Оа′. Із побудови видно, що замикальна ланка γ_Δ зменшується на величину $\Delta\gamma$ Отже розмір γ_1 повинен бути віднесений до групи зменшуючих.

Виконавши подібні дії з розмірами γ_2 і γ_3 (рис. 3.15, *в*, *г*) визначають, що розмір γ_2 є зменшуючим, а γ_3 – збільшуючим. Звідси: $C_1 = -1{,}0$; $C_2 = -1{,}0$; $C_3 = +1{,}0$. Тому координата середини поля допуску замикальної ланки буде рівною:

$$\Delta o\gamma_\Delta = \Delta o\gamma_3 - (\Delta o\gamma_1 + \Delta o\gamma_2).$$

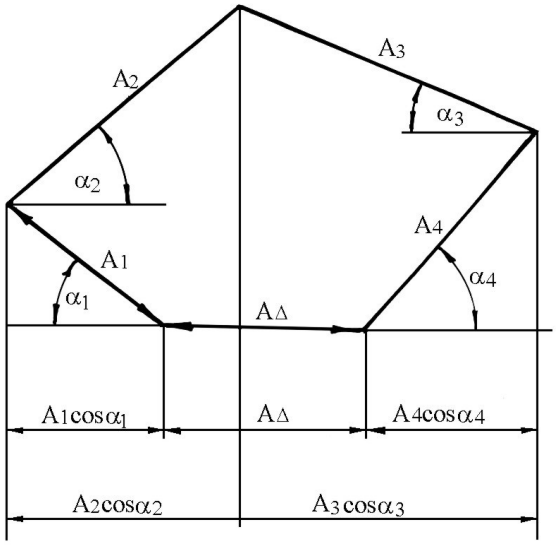
3.2.4. Особливості розрахунку площинних розмірних ланцюгів

Розрахунок проводиться за тими ж формулами, що і для лінійних розмірних ланцюгів. Але для цього треба попередньо привести площинний розмірний ланцюг до лінійного вигляду шляхом заміни складових ланок їх проекціями на напрямок, паралельний напрямку замикальної ланки. У зв'язку з цим схема площинного розмірного ланцюга (рис. 3.16) перетвориться в схему лінійного ланцюга.

Проекції номінальних розмірів, допусків і координат середин полів допусків складових ланок площинного розмірного ланцюга на напрямок, паралельний напрямку замикальної ланки, позначимо через A_i', T_i', $\Delta' o_i$. Величини цих проекцій відповідно будуть рівні:

$$A_i' = A_i \cos\alpha_i;\ T_i' = T_i \cos\alpha_i;\ \Delta' o_i = \Delta o_i \cos\alpha_i,$$

де α_i – кут між напрямком відповідної ланки A_i і замикальної ланки A_Δ.



$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} A_i \cos\alpha_i$$

$$\cos\alpha_i = C_i$$

$$-1 < C_i < +1$$

Рис. 3.16. Плоский розмірний ланцюг з непаралельними ланками

При прийнятих позначеннях формули для розрахунку розмірного ланцюга на максимум-мінімум будуть мати вигляд [5]:

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} A_i' = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}_i \overrightarrow{\cos\alpha_i} - \sum_{n}^{m-1} A_i \overleftarrow{\cos\alpha_i}; \qquad (3.45)$$

$$\Delta o_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} \Delta' o_i = \sum_{i=1}^{n} \Delta o_i \overrightarrow{\cos\alpha_i} - \sum_{n}^{m-1} \Delta o_i \overleftarrow{\cos\alpha_i}; \qquad (3.46)$$

$$T_\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} T_i' = \sum_{i=1}^{m-1} T_i \cos\alpha_i; \qquad (3.46а)$$

$\cos_i = c_i$.

При розрахунку розмірного ланцюга за ймовірнісним методом:

$$\Delta o_\Delta = \sum_{i=1}^{n} \left(\Delta o_i \vec{\mp} \alpha_i \frac{T_i}{2} \right) \cos\alpha_i - \sum_{n}^{m-1} \left(\Delta o_i \bar{\mp} \alpha_i \frac{T}{2} \right) \cos\alpha_i; \qquad (3.47)$$

$$T_{\Delta} = t\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i' T_i^{\,2} \cos^{\,2} \alpha_i} \qquad (3.48)$$

або при t = 3:

$$T_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} K_i^{\,2} T_i^{\,2} \cos^2 \alpha_i}. \qquad (3.49)$$

3.2.5. Розрахунки розмірного ланцюга з векторними похибками

Векторні похибки виникають внаслідок радіального биття зовнішньої поверхні відносно внутрішньої у деталей типу втулок і радіального биття однієї поверхні відносно іншої у ступінчастих валів. В результаті радіального биття відбувається зміщення осі однієї поверхні відносно іншої на величину, що дорівнює половині радіального биття.

На рис. 3.17 наведений приклад складального розмірного ланцюга. Який визначає радіальне биття конуса шпинделя верстата.

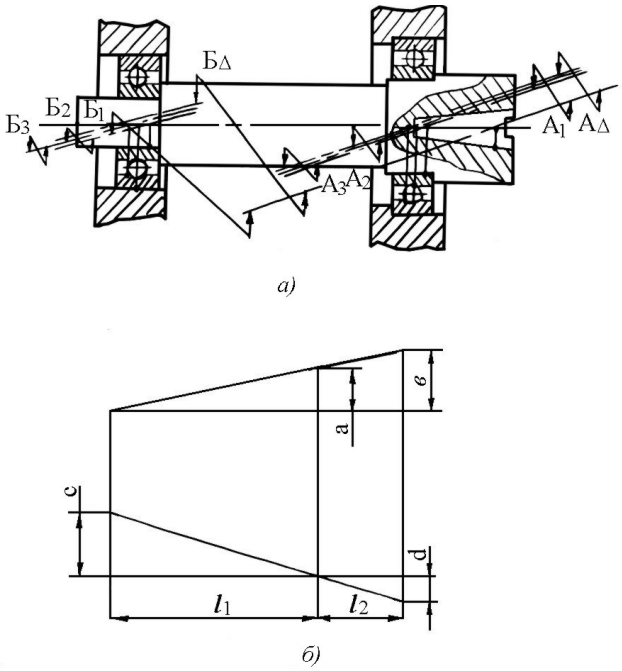


Рис. 3.17. Визначення передаточних відношень ланок розмірного ланцюга

Для вала на двох опорах радіальне биття будь-якої його поверхні треба розглядати як результат биття вала відносно кожної опори. Так, у цьому випадку радіальне биття поверхні конічного отвору шпинделя (рис. 3.17, *а*) складається з радіального биття цієї поверхні відносно передньої опори шпинделя, вираженого розмірним ланцюгом А, і відносно задньої опори шпинделя, вираженого розмірним ланцюгом Б. В цих розмірних ланцюгах A_1 та $Б_1$ – ексцентриситети поверхні конічного отвору та опорних шийок вала, A_2 і $Б_2$ – ексцентриситети опорних шийок

шпинделя з біговими доріжками, $А_3$ і $Б_3$ – ексцентриситети бігових доріжок внутрішніх і зовнішніх кілець підшипників.

Передаточні відношення $С_{А1}$ та $С_{Б1}$ дорівнюють одиниці. Значення ж похибок $А_2$, $А_3$ та $Б_2$, $Б_3$ залежать від перерізу вала, в якому розглядається радіальне биття якої-небудь його поверхні відносно опор. Якщо припустити, що в задній опорі незбігання опорної шийки вала з віссю отвору дорівнює нулю, а в передній – а, то незбігання осі вала з віссю його обертання на передньому кінці буде дорівнювати b (рис. 3.17, *б*). Із подібності трикутників випливає, що биття переднього кінця вала збільшується в q_1 разів (рис. 3.17, *б*):

$$b = a\frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1} = aq_1.$$

Навпаки, биття вала тільки в заданій опорі передається на передній кінець зменшеним у q_2 разів (рис. 3.17, *б*):

$$d = c\frac{\ell_2}{\ell_1} = \ell q_2 .$$

Аналогічно буде впливати власне биття підшипників передньої та задньої опор.

Таким чином, передаточні відношення рівні:

$$СА_2 = СА_3 = \frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1};\ СБ_2 = СБ_3 = \frac{\ell_2}{\ell_1}. \qquad (3.50)$$

Отже, при визначенні впливу векторних похибок на величину допуску замикальної ланки потрібно множити їх на передаточне відношення, яке визначається для кожного конкретного випадку з геометричних міркувань.

Оскільки векторні похибки є випадковими величинами, які при складанні виробу можуть набувати будь-якого числового значення в межах ±δχ/2, то розрахунок розмірного ланцюга з векторними похибками проводиться за ймовірнісним методом. Якщо розмірний ланцюг складається з ланок зі скалярними і векторними похибками, то підсумовування скалярних і векторних похибок потрібно проводити окремо. Для цього випадку допуск замикальної ланки [7] дорівнює:

$$T_\Delta = \frac{t}{t_\Delta\sqrt{\lambda'\Delta}}\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1-n_x}\lambda_i' T_i^{\,2} + \sum_{i=1}^{n_x} Cx_i^{\,2}\lambda' x_i \delta x_i^{\,2}} \qquad (3.51)$$

або при t = 3

$$T_\Delta = \frac{1}{K_\Delta}\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1-n_x} K_i^{\,2}T_i^{\,2} + \sum_{i=1}^{n_x-1} Cx_i^{\,2}Kx_i^{\,2}\delta x_i^{\,2}}\ , \qquad (3.52)$$

де n_x – кількість ланок із векторними похибками;

Kx_i– приведений коефіцієнт відносного розсіяння.

Якщо розмірний ланцюг складається виключно з ланок з векторними похибками, то в цьому випадку одна з векторних похибок умовно приймається за скалярну. Для цього її вектор умовно суміщають з віссю, що збігається з напрямком замикальної ланки і закріплюється в цьому положенні. Всі інші вектори проектуються на цей напрямок. За скалярну величину необхідно приймати ту, яка має найбільший за величиною добуток (складових К, С і Т).

Для цього випадку допуск замикальної ланки рівний [7]:

$$T_\Delta = \frac{1}{K_\Delta}\sqrt{K^2 C_i^{\,2}T^2 + \sum_{i=2}^{nx-1} Cx_i^{\,2}\delta x_i^{\,2}Kx_i^{\,2}}. \qquad (3.53)$$

В проектних умовах, коли закони розподілу похибок складових ланок невідомі,

звичайно приймають t = 3; $\lambda_i' = 1/6$; $\lambda' x = 1/15$; $K_i = 1{,}2$; $Kx^2 = 0{,}5–0{,}65$. Якщо кількість ланок розмірного ланцюга $m \geq 5$, то $K_\Delta = 1$ і $\lambda_\Delta' = 1/9$. При кількості складових ланок $m \geq 4$ К визначається за формулою (3.33) або (3.34), а λ_Δ' – за формулою (3.27). При цьому в формулах (3.33) і (3.34) замість K_x потрібно підставляти $K_i = 1{,}2$.

Коли розмірний ланцюг складається тільки з ланок з векторними похибками, то потрібно приймати $K_\Delta = 0{,}87$, що відповідає ризику q = 0,27 %.

3.2.6. Розрахунок розмірних ланцюгів з ланками-зазорами

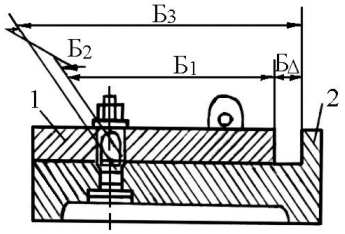


Рис. 3.18. Схема складального з'єднання з розмірним ланцюгом

В складальних розмірних ланцюгах зустрічаються ланки, створені зазорами в з'єднаннях типу вал-отвір. Прикладом такої ланки-зазору може бути сполучення гвинта з кріпильним отвором в складальному з`єднанні (рис. 3.18). При складанні такого з'єднання зазор між гвинтом і отвором може бути вибраним частково або повністю в будь-якому напрямку. В результаті цього вісь отвору зміститься відносно осі гвинта. Ці осі зв'язані розмірами $Б_1$ і $Б_3$ з деталями 1 і 2 складального з'єднання. Тому зміщення осі отвору буде впливати певним чином на допуск замикальної ланки.

В залежності від конструкції виробу зазори в сполученнях типу вал–отвір можуть під впливом діючих сил вибиратись повністю тільки в один бік або (в реверсивних механізмах) вибиратися повністю в той чи інший бік, а за відсутності таких сил вони в процесі складання можуть вибиратись частково чи повністю в довільному напрямку.

Розглянемо випадок, коли зазор може бути вибраний при складанні частково чи повністю в будь-якому напрямку.

Номінальний розмір ланки-зазору і координата середини поля допуску дорівнюють нулю. Величина зміщення однієї осі відносно іншої в межах зазору є випадковою величиною. Тому розрахунок розмірного ланцюга з ланками-зазорами потрібно проводити за ймовірнісним методом.

Похибка ланки-зазора складається з двох складових: випадкової і систематичної. Випадкова складова δz залежить від допусків охоплюючого і охоплюваного розмірів деталей і обчислюється за формулою [7]:

$$\delta z = \frac{1}{2K\delta z}\sqrt{Ka^{\,2}Ta^{\,2} + Kb^{\,2}Tb^{\,2}} \quad . \tag{3.54}$$

Систематична складова похибки ланки-зазору Δz залежить від номінальних розмірів охоплюючої та охоплюваної деталей, координат середини полів їх допусків і визначаються за формулою [7]:

$$\Delta z = \frac{1}{2}\left[(da - db) + (\Delta_o a - \Delta_o b) + \left(\alpha_a \frac{Ta}{2} - \alpha_b \frac{Tb}{2} \right) \right] - a_z \frac{\delta z}{2}. \quad (3.55)$$

В проектних умовах $\alpha_a = \alpha_b = \alpha_z = 0$. Тоді формула (3.55) буде мати вигляд:

$$\Delta z = \frac{1}{2}\left[(da - db) + (\Delta_o a - \Delta_o b) \right]. \quad (3.56)$$

В формулах (3.54)–(3.56) індекс а відноситься до отвору, а індекс b – до валу. Коефіцієнт ½ введений в формулах (3.54)–(3.56) тому, що зміщення осі отвору відносно осі вала дорівнює половині діаметрального зазору чи радіальному зазору.

Якщо в лінійному розмірному ланцюзі складовими ланками є також ланки-зазори, то при визначенні допуску замикальної ланки розмірного ланцюга допуски лінійних розмірів і похибки ланок-зазорів підсумовуються окремо. При цьому для одержання допуску замикальної ланки з деяким запасом як похибки ланки-зазору приймають максимальне значення радіального зазору [7]:

$$z_{max} = \Delta z + \frac{\delta z}{2}. \quad (3.57)$$

Допуск замикальної ланки розмірного ланцюга, що містить ланки-зазори, дорівнює:

$$T_\Delta = \frac{1}{K_\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1-n_2} K_i^{\,2} T_i^{\,2} + \sum_{i=1}^{nz} Kz_i^{\,2} Z^2 \max_i}, \quad (3.58)$$

де Kz_i – приведений коефіцієнт відносного розсіяння для ланки-зазора.

В проектних умовах $K_z = 0{,}8 \div 0{,}86$. K_Δ обчислюється за формулою (3.34).

Якщо ланка-зазор є замикальною ланкою, то при розрахунках необхідно приймати:

$$Z_{min} = \Delta z - \frac{\delta_z}{2}. \quad (3.59)$$

Приклад

Для складального з'єднання (рис. 3.18) потрібно визначити номінальний розмір, допуск і граничні відхилення замикальної ланки $Б_\Delta$.

Дано: $Б_1 = 50 \pm 0{,}1$ мм; $Б_3 = 60 \pm 0{,}1$ мм; діаметр стрижня гвинта $db = 8^{-0{,}1}_{-0{,}3}$ мм; $Tb = 0{,}2$ мм; діаметр отвору $da = 8^{+0{,}2}_{+0{,}1}$ мм; $\Delta b = -0{,}2$ мм; $Ta = 0{,}1$ мм; $\Delta a = 0{,}15$ мм.

Зі схеми розмірного ланцюга випливає, що розмір $Б_3$ є збільшуючою ланкою, а $Б_1$ – зменшуючою.

Номінальний розмір замикальної ланки:

$$z_\Delta = z_3 - z_1 = 60 - 50 = 10 \text{ мм}.$$

Оскільки координати середин полів допусків дорівнюють нулю, то і координати середини поля допуску замикальної ланки $\Delta o_\Delta = 0$.

Для визначення допуску замикальної ланки розмірного ланцюга обчислимо попередньо систематичну і випадкову складові похибки ланки-зазору за формулами (3.54) і (3.55). Потім за формулою (3.57) знаходимо:

$$\Delta_z = \frac{1}{2}\left[0{,}15 - (-0{,}2) \right] = 0{,}18.$$

Приймемо $K_a = K_b = 1{,}2$. Коефіцієнт $K\delta z$ обчислимо за формулою (3.34):

$$K\delta z = 1 + \frac{0{,}1 \cdot 1\sqrt{0{,}1^2 + 0{,}2^2}}{0{,}1 + 0{,}2} = 1{,}08;$$

$$\delta z = \frac{1}{2 \cdot 1{,}08}\sqrt{1{,}2^2\left(0{,}1^2 + 0{,}2^2\right)} = 0{,}125 \text{ мм};$$

$$Z_{max} = 0{,}18 + \frac{0{,}125}{2} = 0{,}24 \text{ мм}.$$

Допуск замикальної ланки T_Δ визначається за формулою (3.58). Коефіцієнт K_Δ обчислимо за формулою (3.34):

$$K_\Delta = 1 + \frac{0{,}1 \cdot 1\sqrt{0{,}2^2 + 0{,}2^2}}{0{,}2 + 0{,}2} = 1{,}09.$$

Приймемо $K_z = 0{,}8$. Тоді:

$$T_\Delta = \frac{1}{1{,}09}\sqrt{1{,}2^2 \cdot 0{,}2^2 \cdot 2 + 0{,}8^2 \cdot 0{,}24^2} = 0{,}36 \text{ мм}.$$

Розмір замикальної ланки $z_\Delta = 10 \pm 0{,}18$ мм.

Якщо зазор Z вибирається повністю в один який-небудь бік, то розмірний ланцюг складається так, щоб зазор не впливав на допуск замикальної ланки, і тоді його розрахунок проводиться за формулами для простих розмірів.

Якщо зазор вибирається повністю то в один, то в інший бік (реверсивні механізми), тоді складаються дві схеми розмірного ланцюга, на одній з яких зазор показаний вибраним в один бік, а на другій – у протилежний. У цих схемах зазор не фігурує, а складовими ланками є радіуси охоплюючої та охоплюваної деталей, допуски на які дорівнюють половині допусків на діаметральні розміри. За двома схемами розраховують два розмірні ланцюги. Остаточно результати розрахунку беруться для найгіршого випадку, тобто найбільше верхнє відхилення береться з результатів розрахунку за однією схемою, а найменше нижнє граничне відхилення – з результатів розрахунку за другою схемою.

3.2.7. Особливості розрахунку взаємозв'язаних розмірних ланцюгів

Паралельно зв'язані розмірні ланцюги можна поділити на три групи:

1) розмірні ланцюги з однією спільною ланкою, що є в одному ланцюгу замикальною, а в іншому – складовою (рис. 3.19, *а*);

2) розмірні ланцюги з декількома спільними ланками, що є складовими як для одного, так і для другого розмірного ланцюга (рис. 3.19, *б*);

3) розмірні ланцюги з декількома спільними ланками, одна з яких в одному ланцюгу є замикальною, а в іншому – складовою (рис. 3.19, *в*).

У першому випадку порядок розрахунку розмірних ланцюгів не має значення. У другому в першу чергу розраховують більш точний розмірний ланцюг, тобто той, у якого середнє значення допуску замикальної ланки, що припадає на одну ланку, має менше числове значення. Одержані при розв'язку цього ланцюга допустимі відхилення спільних складових ланок автоматично переходять до другого (менш точного) розмірного ланцюга.

При розрахунку розмірних ланцюгів третьої групи насамперед розраховують той ланцюг, у якого спільна ланка є замикальною. При цьому при розрахунку другого

ланцюга спільні ланки приймають з відхиленнями, одержаними для них при розрахунку першого розмірного ланцюга.

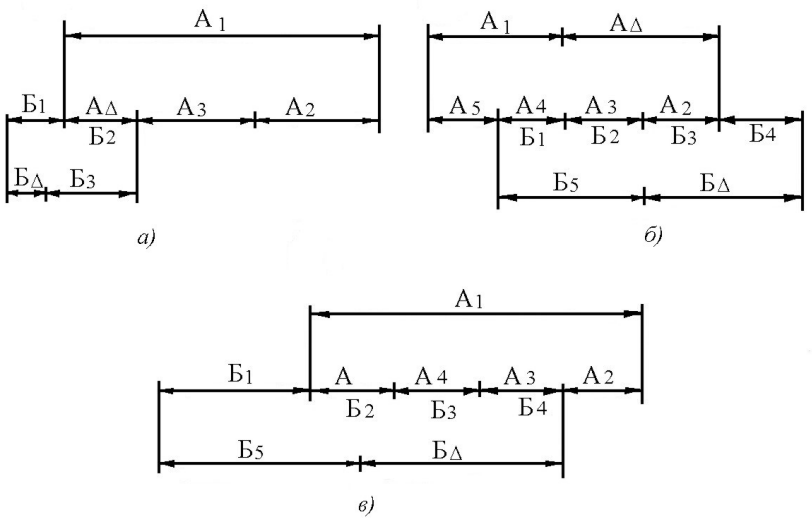


Рис. 3.19. Види паралельно зв'язаних розмірних ланцюгів: а – з однією спільною ланкою; б, в – з декількома спільними ланками

При встановленні порядку розрахунку комбіновано зв'язаних розмірних ланцюгів у кожному випадку підходять творчо, керуючись тими ж міркуваннями, що й при розрахунку паралельно зв`язаних розмірних ланцюгів.

3.3. Методи досягнення точності замикальної ланки розмірного ланцюга

3.3.1. Метод повної взаємозамінності

При цьому методі деталі з'єднуються при складанні без пригінки, регулювання та підбору. При будь-якому сполученні при складанні розмірів деталей, виготовлених у межах розрахункових допусків, автоматично забезпечується потрібна точність замикальної ланки. Розрахунок розмірного ланцюга проводять методом максимуму-мінімуму.

Переваги: простота та економічність складання; можливість організації потокового складання; можливість широкого кооперування заводів; спрощена система виготовлення запасних частин та постачання ними споживачів, відбірковий контроль.

Недоліки: допуски складових ланок одержуються меншим (за інших різних умов), при всіх інших методах, що може виявитися неекономічним.

Сфера застосування: одиничне і масове виробництво при значній величині допуску замикальної ланки і невеликій кількості складових ланок розмірного ланцюга (до 5 ланок) і для багатоланкових розмірних ланцюгів при значній величині допуску на замикальну ланку (8–11 квалітет).

3.3.2. Метод неповної взаємозамінності

При цьому методі деталі з'днуються при складанні без пригінки, регулювання, підбору, при цьому у невеликої (заздалегідь прийнятої) кількості виробів значення замикальних ланок можуть вийти за встановлені межі. Розрахунок розмірного ланцюга проводиться ймовірнісним методом.

Переваги: те ж, що й у методу повної взаємозамінності плюс економічність виготовлення деталей за рахунок розширення полів допусків (порівняно з методом повної взаємозамінності).

Недоліки: можливі, хоч і малоймовірні, додаткові затрати на заміну чи підгонку деяких тих виробів, у яких значення замикальної ланки вийшли за встановлені межі, потрібний 100 %-й контроль складених виробів.

Сфера застосування: серійне і масове виробництво – при високій точності замикальної ланки (10 квалітет) і відносно великій кількості ланок (11–12 квалітети).

3.3.3. Метод групової взаємозамінності

Метод полягає в тому, що при конструюванні виробу потрібна точність замикальної ланки забезпечується за методом повної взаємозамінності, але внаслідок труднощів виконання отриманих розрахунком допусків на розміри складових ланок, які можуть виходити за межи 7-го квалітету, вони замінюються виробничими чи технологічними допусками, які перевищують розрахункові конструкторські допуски в декілька разів. Для забезпечення потрібної точності замикальної ланки безпосередньо при складанні проводять сортування сполучуваних деталей на групи за їх дійсними розмірами, а потім беруть сполучувані деталі з тих груп, в результаті складання яких отримується допуск замикальної ланки, рівний допуску, встановленому конструктором, тобто забезпечується потрібна точність складального з'єднання.

Сортування деталей за розмірами на групи виявляється можливим тому, що дійсні розміри деталей є випадковими величинами і мають розсіяння своїх значень у межах допуску. Складання за методом групової взаємозамінності носить назву селективного складання.

Метод групової взаємозамінності має обмежене застосування і використовується головним чином для розмірних ланцюгів, що мають три складові ланки, для складальних з'єднань, які в процесі експлуатації виробу не піддаються розкладанню, а замінюються комплексно, наприклад, плунжерні пари, підшипники кочення тощо.

При розрахунку допусків і граничних відхилень на розміри складових ланок розмірного ланцюга, точність замикальної ланки якого забезпечується за методом групової взаємозамінності, виходять з формул (3.4), (3.10):

$$\sum_{i=1}^{n}\vec{T} = \sum_{n}^{m-1}\overleftarrow{T}. \qquad (3.60)$$

Розглянемо випадок, коли розмірний ланцюг має дві складові ланки і вихідне рівняння має вигляд [7]:

$$A_{\Delta} = \vec{A} - \overleftarrow{A}.$$

Для того щоб наведені вище умови були виконані, треба призначити допуски на $\vec{A}$ і $\overleftarrow{A}$ так, щоб $T_\Delta = \vec{T} + \overleftarrow{T}$ і $\vec{T} = \overleftarrow{T}$. Потім потрібно підібрати такі значення $\vec{\Delta}o$ і $\overleftarrow{\Delta}o$, щоб виконувалась умова:

$$\Delta o_\Delta = \vec{\Delta}o - \overleftarrow{\Delta}o.$$

Граничні відхилення $\vec{A}$ і $\overleftarrow{A}$ визначаються за формулами:

$$\left.\begin{aligned}\vec{\Delta}в &= \vec{\Delta}o + \frac{\vec{T}}{2}\\ \vec{\Delta}н &= \vec{\Delta}o - \frac{\vec{T}}{2}\end{aligned}\right\}; \qquad (3.61)$$

$$\left.\begin{aligned}\overleftarrow{\Delta}в &= \overleftarrow{\Delta}o + \frac{\overleftarrow{T}}{2}\\ \overleftarrow{\Delta}н &= \overleftarrow{\Delta}o - \frac{\overleftarrow{T}}{2}\end{aligned}\right\}. \qquad (3.61)$$

На цьому закінчується конструкторський розрахунок розмірного ланцюга.

Оскільки отримані за розрахунком допуски $\vec{T}$ і $\overleftarrow{T}$ є важковиконуваними у виробничих умовах, то їх потрібно збільшити в n разів для того, щоб отримати виробничі легковиконувані допуски. При цьому треба збільшити $\vec{T}$ і $\overleftarrow{T}$ обов'язково в одне і те ж число разів, тобто виконати такі умови:

$$\vec{T}' = n\vec{T};\ \ \overleftarrow{T}' = n\overleftarrow{T},$$

де $\vec{T}'$ і $\overleftarrow{T}'$ – виробничі допуски.

У скільки разів збільшені конструкторські допуски на складові ланки, в стільки ж разів збільшиться і допуск замикальної ланки, тобто виробничий допуск замикальної ланки буде дорівнювати:

$$T'_\Delta = nT_\Delta.$$

Кількість груп, на які потрібно розсортовувати готові деталі, також буде дорівнювати n і визначається за формулою:

$$n = \frac{T'_\Delta}{T_\Delta} = \frac{\vec{T}' + \overleftarrow{T}'}{T_\Delta}. \qquad (3.62)$$

Граничні відхилення $\vec{A}$ і $\overleftarrow{A}$ для кожної групи визначаються за такими правилами:

а) для першої групи граничні відхилення $\vec{A}$ і $\overleftarrow{A}$ приймаються рівними розрахунковим значенням, тобто

$$\vec{\Delta}в_{(1)} = \vec{\Delta}в;\ \ \vec{\Delta}н_{(1)} = \vec{\Delta}н;\ \ \overleftarrow{\Delta}в_{(1)} = \overleftarrow{\Delta}в;\ \ \overleftarrow{\Delta}н_{(1)} = \overleftarrow{\Delta}н;$$

б) для наступних груп до граничних відхилень попередніх груп додаються розрахункові конструкторські допуски $\vec{T}$ і $\overleftarrow{T}$ в залежності від того, для якої ланки (збільшуючої чи зменшуючої) визначається граничне відхилення, тобто для кожної групи граничні відхилення розмірів $\vec{A}$ і $\overleftarrow{A}$ визначаються за формулами наведеними в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Формули для розрахунку відхилень розмірів складових ланок при досягненні точності за методом групової взаємозамінності

№ групи	$\vec{A}$		$\overleftarrow{A}$	
	$\Delta\vec{в}$	$\Delta\vec{н}$	$\Delta\overleftarrow{в}$	$\Delta\overleftarrow{н}$
1	$\vec{\Delta}в_{(1)} = \vec{\Delta}в$	$\vec{\Delta}н_{(1)} = \vec{\Delta}н$	$\overleftarrow{\Delta}в_{(1)} = \overleftarrow{\Delta}в$	$\overleftarrow{\Delta}н_{(1)} = \overleftarrow{\Delta}н$
2	$\vec{\Delta}в_{(2)} = \vec{\Delta}в_{(1)} + \vec{T}$	$\vec{\Delta}н_{(2)} = \vec{\Delta}н_{(1)} + \vec{T}$	$\overleftarrow{\Delta}в_{(2)} = \overleftarrow{\Delta}в_{(1)} + \overleftarrow{T}$	$\overleftarrow{\Delta}н_{(2)} = \overleftarrow{\Delta}н_{(1)} + \overleftarrow{T}$
. . . n	$\vec{\Delta}в_{(m)} = \vec{\Delta}в_{(m-1)} + \vec{T}$	$\vec{\Delta}н_{(m)} = \vec{\Delta}н_{(m-1)} + \vec{T}$	$\overleftarrow{\Delta}в_{(m)} = \overleftarrow{\Delta}в_{(m-1)} + \overleftarrow{T}$	$\overleftarrow{\Delta}н_{(m)} = \overleftarrow{\Delta}н_{(m-1)} + \overleftarrow{T}$

Для перевірки правильності обчислення граничних відхилень по групах служать формули:

$$\Delta в_{\Delta} = \Delta \vec{в}_{(i)} - \Delta \overleftarrow{н}_{(i)};$$

$$\Delta н_{\Delta} = \Delta \vec{н}_{(i)} - \Delta \overleftarrow{в}_{(i)};$$

$$\Delta в_{\Delta} - \Delta н_{\Delta} = Т_{\Delta}.$$

Аналогічно розв'язуються задачі для розмірних ланцюгів, які складаються з трьох і більше складових ланок.

3.3.4. Метод припасування

При цьому методі потрібна точність замикальної ланки досягається при складанні за рахунок припасування раніше наміченої деталі (компенсатора), на яку при механічній обробці (під складання) встановлюють визначений припуск.

Переваги: на складові ланки можуть бути встановлені економічно доцільні допуски.

Недоліки: значне подорожчання складання і збільшення його строків; роботи важко нормуються і механізуються, ускладнення планування виробництва; ускладнення постачання запасними частинами.

Сфера застосування: одиничне і малосерійне виробництво; багатоланкові розмірні ланцюги із замикальною ланкою високої точності; досягнення збігання центрів передньої та задньої бабок деяких токарних верстатів у вертикальній площині, забезпечення перпендикулярності стола вертикально-свердлильного верстата до шпинделя та ін.

Розрахунок розмірного ланцюга при використанні методу припасування здійснюється як за методом максимуму-мінімуму, так і за ймовірнісним методом, і зводиться до наступного.

На всі ланки розмірного ланцюга, включаючи і компенсатор, призначаються економічні допуски. Потім визначається похибка замикаючої ланки за формулами (3.4), (3.24), (3.26) в залежності від прийнятого методу розрахунку розмірного ланцюга. Отримане значення похибки Т'Δ повинно перевищувати потрібне значення ТΔ. Різниця між Т'Δ і ТΔ дорівнює величині потрібної компенсації похибки замикальної ланки [7]:

$$\delta_k = Т'\Delta - Т\Delta. \qquad (3.63)$$

Але оскільки компенсація проводиться шляхом додаткової обробки компенсатора при складанні, то потрібно врахувати похибку методу компенсації $\delta_{м.к}$.

Величина $\delta_{м.к}$ залежить від прийнятого методу додаткової обробки компенсатора (шабріння, точіння, шліфування, фрезерування тощо) і не повинна перевищувати значення ТΔ, тобто:

$$\delta_{м.к} \le Т\Delta. \qquad (3.64)$$

Тому остаточно [7]:

$$\delta_k = Т'\Delta - Т\Delta + \delta_{м.к}.. \qquad (3.65)$$

Далі на всі складові ланки, включаючи компенсатор, призначають граничні відхилення розмірів і визначають координати середини полів допусків цих ланок Δo_i Потім за формулами (3.10) чи (3.31) визначають координату середини поля розсіяння замикальної ланки Δо' Звичайно $\Delta o'_{\Delta} \ne \Delta o_{\Delta}$. У цьому випадку визначається величина потрібної компенсації координати середини поля

розсіяння похибки замикальної ланки [7]:

$$\Delta ок = \pm\left(\Delta o_{\Delta} - \Delta o_{\Delta}'\right). \tag{3.66}$$

Знак плюс ставиться у тому випадку, коли компенсатор є збільшуючою, а знак мінус – зменшуючою ланкою.

Граничні значення величини потрібної компенсації розміру замикальної ланки будуть дорівнювати:

$$\left.\begin{aligned} \Delta вk &= \Delta ok + \frac{\delta k}{2} \\ \Delta нk &= \Delta ok - \frac{\delta k}{2} \end{aligned}\right\}. \tag{3.67}$$

Якщо $\Delta вk > 0$, то це означає, що при складанні треба збільшити прийняте значення розміру компенсатора на цю величину. Оскільки компенсатор нерухомий, то таке збільшення здійснити не можливо. Тому для виключення можливості появи такого випадку на складанні потрібно заздалегідь змінити номінальний розмір компенсатора і на його робочому кресленні вказати новий розмір A'k [7]:

$$Ak' = Ak + \Delta вk. \tag{3.68}$$

Наприклад, розмір компенсатора був попередньо встановлений рівний $2_{-0,1}$ мм. За розрахунком отримано $\Delta вk = +0,5$ мм і $\Delta нk = -0,2$ мм. Тому остаточно розмір компенсатора рівний:

$$Ak' = (2 + 0,5) - 0,1 = 2,5 - 0,1 \text{ мм}.$$

Якщо $\Delta вk < 0$ і $\Delta нk < 0$, то для зменшення обсягу припасувальних робіт потрібно змінити розмір компенсатора, використовуючи формулу (3.68) із врахуванням знака при $\Delta вk$.

3.3.5. Метод регулювання

При цьому методі потрібна точність замикальної ланки досягається при складанні за рахунок зміни розміру компенсуючої ланки без зняття шару матеріалу. Зміна розміру при складанні забезпечується або спеціальними конструкціями компенсаторів або підбором змінних деталей. Розрахунок проводиться методом максимуму-мінімуму або ймовірнісним методом.

Переваги: на складові ланки призначаються економічно доцільні допуски; можливість регулювання розміру замикальної ланки не тільки при складанні, а й під час експлуатації (для компенсації спрацювання); можливість забезпечення (в деяких випадках) автоматичного регулювання точності.

Недоліки: Можливе ускладнення конструкції виробу; збільшення (в деяких випадках) кількості деталей у розмірному ланцюгу; ускладнення складання через необхідність регулювання та вимірювань.

Сфера застосування: усі типи виробництва, особливо для ланцюгів з високою точністю; забезпечення малих осьових зміщень обертових деталей (шпинделів верстатів, черв'яків, валів із зубчастими колесами), мінімального зазора між опорами і шийками шпинделів при роботі верстата тощо.

Регулювання набором прокладок [7]

Якщо регулювання виконується набором прокладок однакової товщини, то величина потрібної компенсації розраховується за формулами (3.65)–(3.67). При цьому номінальний розмір компенсатора приймається рівним нулю і допуск на нього не призначається, але враховується через $\delta_{м.к}$ у формулі (3.65).

Якщо в результаті розрахунків за формулами (3.67) вийде, що $\Delta bk > 0$, а $\Delta нk < 0$, то потрібно виключити можливість появи випадку, коли $\Delta нk < 0$. Для цього треба змінити або номінальний розмір A_i, або координату середини поля допуску якої-небудь ланки на величину $\Delta нk$. Їх нові значення $\vec{A}'$, $\vec{\Delta}o$ чи $\overleftarrow{A}'$, $\overleftarrow{\Delta}o$ (в залежності від типу ланки) визначаються за формулами:

$$\left.\begin{aligned}\vec{A}' &= \vec{A} - \Delta нк \\ \vec{\Delta}o' &= \vec{\Delta}o - \Delta нк\end{aligned}\right\}; \tag{3.69}$$

$$\left.\begin{aligned}\overleftarrow{A}' &= \overleftarrow{A} + \Delta нк \\ \overleftarrow{\Delta}o &= \overleftarrow{\Delta}o + \Delta нк\end{aligned}\right\}. \tag{3.70}$$

Змінюючи значення A_i чи Δo_i за формулами (3.69) чи (3.70), ми тим самим зміщуємо розрахункову величину координати середини поля розсіяння похибки замикальної ланки $\Delta'o_\Delta$ на величину потрібної $\Delta нк$ і таким чином виключаємо можливість появи на складанні від`ємної величини потрібної компенсації розміру замикальної ланки, а компенсацію зводимо до зміни величини δk за допомогою підбору прокладок. Товщина однієї прокладки:

$$S = T_\Delta. \tag{3.71}$$

Потрібна кількість прокладок:

$$Z = \frac{\delta k}{S}. \tag{3.72}$$

Якщо кількість прокладок виходить великою, то їх роблять різної товщини. Товщина першої прокладки приймається рівною $S_1 = T_\Delta$, а товщина наступних – $S_i = 2S_{i-1}$, тобто $S_1 = T_\Delta$; $S_2 = 2S_1$; $S_3 = 2S_2$.

Товщина наступної прокладки дорівнює:

$$S_n = \frac{\delta k + \Delta bk}{2}. \tag{3.73}$$

Регулювання за рахунок ланки-зазору [7]

Як компенсатор може бути використана ланка-зазор, якщо вона входить в складальний розмірний ланцюг як складова ланка. Часто з цією метою використовують зазор у з'єднанні гвинт (чи болт) – кріпильний отвір.

Розрахунок розмірного ланцюга аналогічний попередньому. На всі ланки розмірного ланцюга, виключаючи зазор-компенсатор, призначаються економічні допуски і граничні відхилення на розсуд конструктора. Потім визначаються значення T_Δ' і $\Delta'o_\Delta$ за формулами (3.24) і (3.31). Далі за формулами (3.65) і (3.66) обчислюються δk і Δok, а за формулами (3.67) визначаються $\Delta вк$ і $\Delta нк$. Для кращого використання компенсуючої можливості зазору потрібне виконання умови: $\Delta'o_\Delta = \Delta o_\Delta$.

Якщо $\Delta нк < 0$, то ця умова може бути виконана шляхом зміни координати середини поля допуску або номінального розміра якої-небудь складової ланки на величину $\Delta нк$ за формулами (3.64) чи (3.70).

Потім обчислюється випадкова складова δ_z ланки-зазору за формулою (3.56). Мінімальне значення зазору Z_{min} визначається за формулою (3.59) і характеризує компенсуючу можливість зазору-компенсатора. Потрібно, щоб виконувалась умова:

$$Z_{min} \geq \frac{\delta к}{2}. \qquad (3.74)$$

Якщо ця умова виконується, то зазор може повністю компенсувати похибку замикальної ланки. Якщо ця умова не виконується, то потрібно збільшити систематичну складову Δz похибки ланки-зазору за рахунок зміни граничних відхилень розміру охоплюючої деталі (отвору) або збільшення номінального розміру діаметра отвору.

3.4. Виявлення розмірних ланцюгів і порядок їх розрахунку

3.4.1. Знаходження замикальної ланки, визначення допуску на її розмір, виявлення складових ланок розмірного ланцюга

Найбільш відповідальним етапом при конструюванні нових машин і механізмів є етап знаходження замикальної ланки (вихідної ланки), визначення допуску на розмір цієї ланки і виявлення складових ланок розмірного ланцюга. При цьому кожний розмірний ланцюг може вирішувати тільки одну задачу, яка повинна бути попередньо встановлена і чітко сформульована. Проте, будь-яка задача, що вирішується за допомогою розмірного ланцюга, зводиться, по суті, до визначення точності даного складального з'єднання.

Вимоги до точності, які має задовольняти складальне з'єднання чи машина в цілому, можна поділити на дві групи:

1. Точність взаємного розташування окремих деталей чи складальних одиниць, що забезпечують належну роботу виробу при його експлуатації.

2. Точність взаємного розташування деталей чи складальних одиниць, що забезпечують можливість складання виробу (наприклад, точність розташування валів, що з'єднуються муфтою, зазори та ін.).

Ці вимоги до точності складального з'єднання визначаються допуском на розмір замикальної ланки складального розмірного ланцюга, за допомогою якого вирішується поставлена задача.

Замикальною ланкою складального розмірного ланцюга може бути зазор чи лінійний розмір між поверхнями чи осями двох деталей або кутовий розмір, що визначає відносне положення поверхні чи осі однієї деталі складальної одиниці відносно поверхні чи осі іншої деталі (складальної одиниці).

Замикальні ланки і допуски на них в ряді випадків встановлюються відповідними стандартами, наприклад, на зубчасті передачі, металорізальні верстати та інші вироби. В інших випадках замикальні ланки визначаються з умов експлуатації виробу чи умов можливості його складання, а допуски на замикальні ланки встановлюються на основі досвіду експлуатації даного чи аналогічного виробу, чи шляхом розрахунків і спеціально поставлених експериментів.

Після визначення замикальної ланки складального розмірного ланцюга виявляються її складові ланки. Виявлення складових ланок починається із зображення на складальному кресленні замикальної ланки. Потім на кресленні

знаходять прилеглу до нього зліва деталь, розмір якої безпосередньо впливає на розмір замикальної ланки. Далі знаходять розмір другої деталі, пов'язаної з розміром першої деталі, який також впливає на точність розміру замикальної ланки. Потім переходять до наступної деталі, сполученої з другою, і так послідовно виявляють деталі складального з'єднання, сполучені одна з одною, розміри яких безпосередньо впливають на розмір замикальної ланки. Останній з цих розмірів повинен примикати до розміру замикальної ланки з другого боку, тобто справа. Всі виявлені складові ланки разом із замикальною ланкою повинні створювати замкнений контур.

В число складових ланок необхідно включити тільки ті розміри, які безпосередньо впливають на точність замикальної ланки. Це означає, що до складу даного розмірного ланцюга від кожної деталі може входити тільки один розмір.

У готових виробів для даного підприємства (підшипників кочення, муфт, електродвигунів тощо) до складу розмірного ланцюга включається кінцевий розмір, що охоплює декілька деталей, наприклад, монтажна висота конічного роликового підшипника та ін.

Процес виявлення складових ланок та розрахунок розмірного ланцюга розглянуто на прикладі конічно-циліндричного редуктора (п. 3.4.4).

3.4.2. Порядок розрахунку розмірних ланцюгів

Розрахунок складальних розмірних ланцюгів при розв'язанні прямої задачі складається з наступних етапів [8].

1. Виявляється замикальна ланка і визначаються її номінальний розмір, допуск і координата середини поля допуску.

2. Виявляються складові ланки і визначаються за робочими кресленнями їх номінальні розміри. Проводиться перевірка правильності установлення номінальних розмірів за формулою (3.1).

3. Якщо у виробі декілька розмірних ланцюгів, пов'язаних один з одним, то складається таблиця із вказанням для кожного ланцюга середнього значення номінальних розмірів і середнього значення допуску на складові ланки.

4. За середнім значенням допуску на складові ланки і за величиною допуску на замикальну ланку вибирається метод досягнення точності замикальної ланки і встановлюється почерговість розрахунку розмірного ланцюга.

Подальший порядок розрахунку розмірного ланцюга залежить від вибраного методу досягнення точності замикальної ланки.

При методі повної взаємозамінності треба дотримуватись наступного порядку розрахунку:

1. Вибирається спосіб визначення допусків на складові ланки. При виборі способу рівних допусків на всі складові ланки розмірного ланцюга призначаються економічні допуски, граничні відхилення і обчислюються координати середин полів допусків для всіх складових ланок.

2. Проводиться перевірка правильності призначення допусків і прийнятих координат середин полів допусків на складові ланки за формулами (3.4) і (3.10). У випадку необхідності вносять корективи і проводять повторну перевірку T_Δ і Δo_Δ.

3. У випадку вибору способу єдиного квалітету для визначення допусків на

складові ланки обчислюють число одиниць допуску для всіх складових ланок розмірного ланцюга за формулою (3.17) і за числом а визначають квалітет. За цим квалітетом призначають допуски і граничні відхилення на всі складові ланки, крім однієї, вибраної як узгоджуючої ланки.

Для узгоджуючої ланки визначають допуск і граничні відхилення за формулами (3.18)–(3.21).

При методі неповної взаємозамінності потрібно дотримуватись наступного порядку розрахунку:

1. Встановлюється відсоток ризику і величина t, призначаються коефіцієнти відносного розсіяння λ_i' або K_i і коефіцієнти α_i відносної асиметрії для всіх складових ланок.

2. Вибирається спосіб визначення допусків на складові ланки розмірного ланцюга.

3. При виборі способу рівних допусків проводиться перевірка правильності призначення допусків і граничних відхилень за формулами (3.24), (3.26), (3.31). Якщо потрібно, то вносяться корективи і проводиться повторна перевірка отриманих значень T_Δ і Δo_Δ.

4. При виборі способу єдиного квалітету визначається число одиниць допуску за формулою (3.36). Як узгоджуюча ланка вибирається ланка з найбільшим номінальним розміром.

5. Визначається допуск і граничні відхилення на узгоджуючу ланку за формулами (3.37)–(3.40), (3.21).

При методі групової взаємозамінності потрібно дотримуватись наступного порядку розрахунку:

1. Встановлюються конструкторські допуски на всі складові ланки за методом повної взаємозамінності з виконанням умов (3.4), (3.10) і (3.60).

2. Визначаються конструкторські граничні відхилення для збільшуючих і зменшуючих ланок розмірного ланцюга.

3. Встановлюються як виробничі допуски на всі ланки розмірного ланцюга шляхом збільшення в одне й теж число n разів конструкторських допусків, так і кількість груп сортування деталей.

4. Визначають граничні відхилення для кожної групи окремо для збільшуючих і зменшуючих ланок за схемою, наведено в табл. 3.1.

При методі припасування і регулювання потрібно дотримуватись наступного порядку розрахунку:

1. Вибирається компенсуюча ланка і тип компенсатора: рухомий чи нерухомий.

2. Призначаються економічні допуски і встановлюються граничні відхилення на всі складові ланки, що включають компенсуючу ланку при методі припасування і виключають її при методі регулювання.

3. Визначається величина потрібної компенсації похибок замикальної ланки розмірного ланцюга за формулою (3.65).

4. Визначається величина потрібної компенсації координати середини поля розсіяння похибок замикальної ланки Δок за формулою (3.66). Обчислюються граничні значення величини потрібної компенсації розміру замикальної ланки за формулою (3.67).

5. На основі результатів обчислень, отриманих за формулою (3.67), уточнюється номінальний розмір нерухомого компенсатора за формулою (3.68) при використанні методу припасування. При використанні методу регулювання

за допомогою набору прокладок рівняння $\Delta' o_\Delta = \Delta o_\Delta$ забезпечується шляхом зміни номінального розміру чи координати середини поля допуску якої-небудь складової ланки за формулами (3.68), (3.70). Число прокладок визначається за формулою (3.72).

6. При використанні як компенсатора зазору між гвинтом і кріпильним отвором компенсувальна спроможність зазору визначається за формулою (3.59), і у випадку необхідності вносяться зміни в розмір отвору.

Порядок розв'язання оберненої задачі

При розв'язанні оберненої задачі доводитися виконувати теоретичні та виробничі розрахунки.

Теоретичні розрахунки використовуються технологами-складальниками при впровадженні у виробництво нових виробів з метою встановлення методів складання.

Виробничі розрахунки виконуються в умовах, коли виріб вже знаходиться у виробництві, і мета їх полягає в перевірці правильності призначення допусків на складові ланки, а при розрахунку за ймовірнісним методом – і в уточненні прийнятих значень коефіцієнтів відносного розсіяння та відносної асиметрії.

Порядок теоретичного розрахунку розмірного ланцюга

1. Виявляється замикальна ланка і складові ланки розмірного ланцюга за складальним кресленням виробу. За робочими кресленнями деталей встановлюються номінальні розміри, допуски і граничні відхилення на всі складові ланки розмірного ланцюга. Складається схема розмірного ланцюга і визначаються типи складових ланок.

2. Вибирається метод розрахунку розмірного ланцюга: максимуму-мінімуму чи ймовірнісний. При виборі ймовірнісного методу встановлюються коефіцієнт ризику t і коефіцієнти λ_i' чи K для всіх складових ланок, а також приймаються значення коефіцієнтів α_i.

3. Проводиться обчислення номінального розміру, допуску і координати середини поля допуску замикальної ланки за формулами (3.2), (3.4), (3.10) чи (3.26), (3.24), (3.31) в залежності від прийнятого методу розрахунку розмірного ланцюга. У випадку перевіркового характеру розрахунку проводиться порівняння отриманих значень T_Δ і Δo_Δ із заданими за кресленням і з'ясовуються причини розбіжностей, якщо такі мають місце.

Порядок виробничих розрахунків розмірного ланцюга

1. Виявляється замикальна ланка і складові ланки розмірного ланцюга за складальним кресленням виробу. За робочими кресленнями деталей встановлюються номінальні розміри, допуски і граничні відхилення на всі складові ланки розмірного ланцюга. Складається схема розмірного ланцюга і визначаються типи складових ланок.

2. Вибирається метод розрахунку розмірного ланцюга. При виборі ймовірнісного методу розрахунку для кожної складової ланки проводиться визначення статистичними методами коефіцієнтів λ_i' чи K_i і α_i.

3. Обчислюються номінальний розмір, допуск, координати середини поля допуску і граничні відхилення замикальної ланки і порівнюються отримані результати з результатами, отриманими за аналогічними розрахунками. Вносяться відповідні корективи.

Основною метою розрахунку розмірного ланцюга є критичний аналіз правильності проставлення розмірів, допусків і граничних відхилень на розміри складових ланок, а також вибір методу досягнення точності замикальної ланки і вибір методу складання.

3.4.3. Вибір методів розрахунку розмірних ланцюгів і досягнення точності замикальної ланки

Вибір методів досягнення точності замикальної ланки залежить від величини допуску, встановленого на розмір замикальної ланки, і кількості складових ланок розмірного ланцюга. Крім того, при виборі потрібно враховувати реальні можливості підприємства щодо забезпечення точності розмірів складових ланок, що проектуються, і відповідного рівня організації складальних робіт.

Якщо кількість складових ланок розмірного ланцюга $m - 1 \le 4$, то розрахунок розмірного ланцюга необхідно виконувати за методом максимуму-мінімуму, якщо кількість складових ланок розмірного ланцюга $m - 1 \ge 5$ – за ймовірнісним методом.

Для попереднього вибору методу рекомендується наступний спосіб. За номінальними розмірами складової ланки розмірного ланцюга визначається їх середнє значення:

$$A_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1}(Ai\mu)}{m-1}, \qquad (3.75)$$

де A_i – номінальний розмір і-ої складової ланки;

$m - 1$– кількість складових ланок в розмірному ланцюзі.

Потім за встановленим допуском на розмір замикальної ланки і кількістю складових ланок розмірного ланцюга визначається середнє значення допуску для кожної ланки в залежності від прийнятого методу розрахунку за наступними формулами:

а) при розрахунку за методом максимуму-мінімуму:

$$T_{сер} = \frac{T_\Delta}{m-1}; \qquad (3.76)$$

б) при розрахунку ймовірнісним методом:

$$T_{сер} = \frac{T_\Delta}{K_i\sqrt{m-1}} = \frac{T_\Delta}{1{,}2\sqrt{m-1}}. \qquad (3.77)$$

За отриманими значеннями $A_{сер}$ і $T_{сер}$ визначають найближчий квалітет.

Якщо розрахунок розмірного ланцюга виконується за методом максимуму-мінімуму і величина $T_{сер}$ відповідає 9-му квалітету і грубіше, то потрібно використовувати метод повної взаємозамінності. При малій кількості ланок метод повної взаємозамінності іноді можна використовувати і при $T_{сер}$, що відповідає 6-8-му квалітетам точності, оскільки зниження трудомісткості складання окупить підвищені вимоги щодо точності виготовлення декількох деталей. При $T_{сер}$, що

відповідає 7-му і вищим квалітетам точності, рекомендується використовувати метод припасування чи регулювання. Для деяких виробів, що випускаються у великих кількостях, замість припасування раціонально застосувати метод групової взаємозамінності.

Якщо розрахунок виконується за ймовірнисним методом і величина $T_{сер}$ (3.77) відповідає 10-му квалітету і грубіше, то потрібно використовувати метод неповної взаємозамінності. В іншому випадку, коли $T_{сер}$ відповідає 9-му квалітету і точніше, потрібно застосувати методи регулювання та припасування, тобто методи, що компенсують похибку замикальної ланки.

3.4.4. Приклади розрахунку складальних розмірних ланцюгів (задача аналізу)

Задача

Для забезпечення нормальної роботи підшипників в конічно-циліндричному редукторі (рис. 3.20) між кришками і торцями зовнішніх кілець підшипників при складанні необхідно забезпечити зазори ($A_{НΔ}$, $A_{КΔ}$, $A_{МΔ}$), достатні для компенсації теплового розширення валів і які не перевищують допустиме осьове зміщення валів.

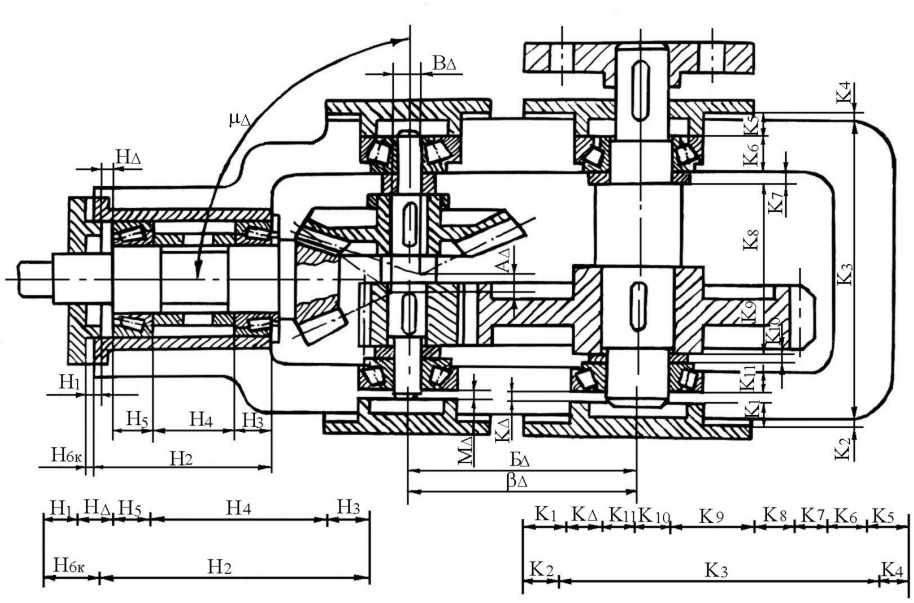


Рис. 3.20. Виявлення складальних розмірних ланцюгів

Розв'язання задачі аналізу покажемо на прикладі забезпечення зазору $A_{КΔ}$, розмір і граничні відхилення якого задані в технічних умовах на виготовлення та складання редуктора, а саме: $A_{K_\Delta} = 0^{+0,8}_{+0,1}$ мм.

Розв'язання

1. Виявлення замикальної ланки.

Замикальною ланкою буде зазор $A_{K_\Delta} = 0^{+0,8}_{+0,1}$ мм, тобто номінальне значення замикальної ланки рівне: $A_{K_\Delta} = 0$ мм.

Допуск замикальної ланки:

$$T_{K_\Delta} = \Delta_{B_{K_\Delta}} - \Delta_{H_{K_\Delta}} = 0,8 - 0,1 = 0,7 \text{ мм.}$$

Координата середини поля допуску замикальної ланки розмірного ланцюга за формулою (3.7) дорівнює:

$$\Delta_{O_{K_\Delta}} = \frac{\Delta_{B_{K_\Delta}} + \Delta_{H_{K_\Delta}}}{2} = \frac{0,8 + 0,1}{2} = 0,45 \text{ мм.}$$

2. Виявлення складових ланок розмірного ланцюга, складання його схеми та визначення характеристик ланок.

Виявлення складальних ланок розмірного ланцюга виконуємо за методикою, викладеною в п. 3.4.1.

У розмірному ланцюгу A_K величина зазору $A_{K\Delta}$ залежить від відносного положення зовнішнього кільця першого підшипника і упорного торця кришки (осьовий зазор умовно віднесений до цього підшипника). У свою чергу, положення торця кришки відносно корпусу редуктора визначається відстанню між торцевими поверхнями кришки і товщиною прокладки.

Отже, першою ланкою A_{K1}, яка безпосередньо впливає на замикальну ланку, є розмір між торцевими поверхнями кришки, а другою ланкою A_{K2} – товщина прокладки між кришкою та корпусом. Третьою ланкою ланцюга A_{K3} є відстань між стінками корпусу. Товщина прокладки A_{K4} визначає положення другої кришки відносно корпусу. Відстань A_{K5} між торцевими поверхнями другої кришки визначає положення торця, в який впирається зовнішнє кільце правого підшипника. Положення упорного торця внутрішнього кільця другого підшипника залежить від відхилень монтажної висоти A_{K6} підшипника.

Переходячи послідовно від однієї поверхні до іншої, одержимо: A_{K7} – товщина кільця; A_{K8} – товщина буртика вала; A_{K9} – довжина маточини зубчатого колеса; A_{K10} – товщина кільця; A_{K11} – монтажна висота першого підшипника. Таким чином, прийшли до другої поверхні, яка утворює замикальну ланку.

Схема ланцюга A_K показана на рис. 3.21.

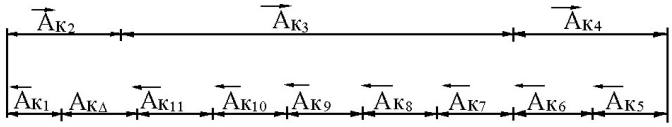


Рис. 3.21. Складальний розмірний ланцюг

З наведеної схеми можна зробити висновок, що ми маємо справу з лінійним розмірним ланцюгом, у якого ланки A_{K2}, A_{K3}, A_{K4} – збільшуючі, а ланки A_{K1}, A_{K5}, A_{K6}, A_{K7}, A_{K8}, A_{K9}, A_{K10}, A_{K11} – зменшуючі.

У лінійних розмірних ланцюгів передатне відношення складової ланки $C_i = +1$ для збільшуючих та $C_i = -1$ для зменшуючих ланок.

Отже, для наведеного прикладу маємо:

$$C_{K1} = C_{K5} = C_{K6} = C_{K7} = C_{K8} = C_{K9} = C_{K10} = C_{K11} = -1;$$

$C_{K2} = C_{K3} = C_{K4} = +1$.

Крім того, потрібна відмітити, що ланки A_{K6} і A_{K11} є стандартними, тому їх неможна використовувати як узгоджуючі. Як узгоджуючі можуть бути використані решта нестандартних ланок, але кращим варіантом буде, якщо використати для цих цілей ланки A_{K2}, A_{K4} (прокладки) і ланку A_{K3} як найбільшу за розміром.

3. Попередні розрахунки.

За робочими кресленнями деталей і ГОСТ 520-71 на підшипники визначаємо номінальні розміри і граничні відхилення складових ланок:

$A_{K_1} = 8_{-0,1}$ мм; $A_{K_7} = 6_{-0,04}$ мм;

$A_{K_2} = 2^{-0,01}_{-0,03}$ мм; $A_{K_8} = 10_{-0,1}$ мм;

$A_{K_3} = 85_{-0,1}$ мм; $A_{K_9} = 24^{-0,01}_{-0,04}$ мм;

$A_{K_4} = 2^{-0,01}_{-0,03}$ мм; $A_{K_{10}} = 6_{-0,04}$ мм;

$A_{K_5} = 8^{-0,1}_{-0,2}$ мм; $A_{K_{11}} = 14_{-0,12}$ мм.

$A_{K_6} = 14_{-0,12}$ мм;

Допуски і координати середин полів допусків складових ланок визначаємо за формулами (3.7):

$T_{K_i} = \Delta B_{K_i} - \Delta H_{K_i}$; $\Delta O_{K_i} = \frac{\Delta B_{K_i} + \Delta H_{K_i}}{2}$;

$T_{K_1} = 0,1$ мм; $\Delta O_{K_1} = -0,05$ мм;

$T_{K_2} = T_{K_4} = 0,02$ мм; $\Delta O_{K_2} = \Delta O_{K_4} = -0,02$ мм;

$T_{K_3} = 0,1$ мм; $\Delta O_{K_3} = -0,05$ мм;

$T_{K_5} = 0,1$ мм; $\Delta O_{K_5} = -0,15$ мм;

$T_{K_6} = T_{K_{11}} = 0,12$ мм; $\Delta O_{K_6} = \Delta O_{K_{11}} = -0,06$ мм;

$T_{K_7} = T_{K_{10}} = 0,04$ мм; $\Delta O_{K_7} = \Delta O_{K_{10}} = -0,02$ мм;

$T_{K_8} = 0,1$ мм; $\Delta O_{K_8} = -0,05$ мм;

$T_{K_9} = 0,03$ мм; $\Delta O_{K_9} = -0,025$ мм.

4. Визначення методів досягнення точності замикальної ланки (і методів розрахунку розмірних ланцюгів).

4.1. Перевіримо можливість застосування методу повної взаємозамінності за формулами (3.75) і (3.76):

$$A_{K_{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} A_{K_i}}{m-1} = \frac{8+2+85+2+8+14+6+10+24+6+14}{11} = 16,3 \text{ мм};$$

$$T_{K_{сер}} = \frac{T_{K_\Delta}}{m-1} = \frac{0,7}{11} = 0,064 \text{ мм}.$$

Допуск складової ланки розмірного ланцюга T = 0,064 мм (64 мкм) для номіналу A = 16,3 мм згідно зі СТ СЭВ 145-75 відповідає 9–10 квалітетам точності, тобто згідно з п. 3.4.3 ($T_{K_{сер}}$ – грубіше 9 квалітету) можна при розрахунках застосовувати метод повної взаємозамінності.

4.2. Перевіримо можливість застосування методу неповної взаємозамінності за формулами (3.75) і (3.77):

$$A_{K_{сер}} = 16{,}3 \text{ мм};$$

$$T_{K_{сер}} = \frac{T_{K_\Delta}}{1{,}2\sqrt{m-1}} = \frac{0{,}7}{1{,}2\sqrt{11}} = 0{,}176 \text{ мм}.$$

Допуск складової ланки розмірного ланцюга T = 0,176 мм для номіналу A = 16,3 мм згідно з СТ СЭВ 145-75 відповідає 11–12 квалітетам, тобто згідно з п. 3.4.3 ($T_{K_{сер}}$ – грубіше 10 квалітету) можна при розрахунках застосовувати метод неповної взаємозамінності.

Тому далі виконуємо розрахунки розмірного ланцюга за методами максимуму-мінімуму (для методу повної взаємозамінності) і ймовірнісним (для методу неповної взаємозамінності).

Приклад 1. Розрахунок розмірного ланцюга Ак методом максимуму-мінімуму (задача аналізу)

5. Узгодження номінальних розмірів.

Розрахункове значення номінального розміру замикальної ланки за формулою (3.1) дорівнює:

$$A_{K_{\Delta_P}} = \sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i} A_{K_i} = -1\cdot 8 + 1\cdot 2 + 1\cdot 85 + 1\cdot 2 - 1\cdot 8 - 1\cdot 14 - 1\cdot 6 -$$

$$-1\cdot 10 - 1\cdot 24 - 1\cdot 6 - 1\cdot 14 = -1 \text{ мм}.$$

Оскільки $A_{K_{\Delta_P}} \neq A_{K_\Delta}$ $(-1 \neq 0)$, то номінальні розміри не узгоджені. Розузгодження згідно з формулою (3.14) дорівнює:

$$r_{A_K} = A_{K_\Delta} - A_{K_{\Delta_P}} = 0 - (-1) = 1 \text{ мм}.$$

За узгоджуючу ланку вибираємо збільшуючу ланку A_{K3}. Визначаємо узгоджуюче значення цієї ланки за формулою (3.13):

$$\vec{A}_{K_{3_У}} = \vec{A}_{K_3} + r_{A_K} = 85 + 1 = 86 \text{ мм}.$$

При $A_{K_3} = 86$ мм рівність $A_{K_{\Delta_P}}$ і A_{K_Δ} виконується і номінальні розміри ланцюга узгоджені.

6. Узгодження допусків.

Розрахункове значення допуску замикальної ланки розраховується за формулою (3.4):

$$T_{K_{\Delta_P}} = \sum_{i=1}^{m-1} \left|C_{K_i}\right| \cdot T_{K_i} = 0{,}1 + 0{,}02 + 0{,}1 + 0{,}02 + 0{,}1 + 0{,}12 + 0{,}04 +$$

$$+ 0{,}1 + 0{,}03 + 0{,}04 + 0{,}12 = 0{,}79 \text{ мм}.$$

Порівняння розрахункового значення допуску замикальної ланки $T_{K\Delta p}$ з

необхідним $T_{K\Delta} = 0{,}7$ мм показує, що ланцюг за допусками не узгоджений.

Визначаємо показник неузгодження за формулою (3.12):

$$r_T = T_{K_\Delta} - T_{K_{\Delta_p}} = 0{,}7 - 0{,}79 = -0{,}09 \text{ мм}.$$

Як зазначалось вище, найкращим варіантом було б виконання узгодження за рахунок нестандартних ланок A_{K2}, A_{K3}, і A_{K4}. Але сумарне значення допуску ланок A_{K2}, A_{K3}, і A_{K4} складає 0,14 мм, і тому його зменшення на величину неузгодження r_T = – 0,09 мм виконати неможливо.

Отже, виходячи із значень допусків складових ланок, узгодження виконуємо на нестандартизованих ланках: A_{K1}; A_{K3}; A_{K5}; A_{K7}; A_{K8}; A_{K10}.

Неузгодження r_T = –0,09 мм розподіляємо відповідно на ланки, які вибрані як узгоджуючі. Зменшимо допуски ланок A_{K1} і A_{K5} на 0,02 мм, допуск ланки A_{K3} на – 0,01 мм, допуск ланки A_{K8} – на 0,03 мм, допуски ланок A_{K7} і A_{K10} – на 0,005 мм.

Тоді отримуємо:

$$T_{K_1} = 0{,}08 \text{ мм}; \qquad T_{K_7} = T_{K_{10}} = 0{,}035 \text{ мм};$$

$$T_{K_3} = 0{,}09 \text{ мм}; \qquad T_{K_8} = 0{,}07 \text{ мм}.$$

$$T_{K_5} = 0{,}08 \text{ мм};$$

Одержані допуски технологічно допустимі.

7. Узгодження граничних відхилень.

Задамо нижнє та верхнє граничні відхилення узгоджуючих ланок:

$$\Delta B_{K_1} = 0 \text{ мм}; \qquad \Delta H_{K_1} = -0{,}08 \text{ мм};$$

$$\Delta B_{K_3} = 0 \text{ мм}; \qquad \Delta H_{K_3} = -0{,}09 \text{ мм};$$

$$\Delta B_{K_5} = -0{,}11 \text{ мм}; \qquad \Delta H_{K_5} = -0{,}19 \text{ мм};$$

$$\Delta B_{K_7} = \Delta B_{K_{10}} = 0 \text{ мм}; \qquad \Delta H_{K_7} = \Delta H_{K_{10}} = -0{,}035 \text{ мм};$$

$$\Delta B_{K_8} = 0 \text{ мм}; \qquad \Delta H_{K_8} = -0{,}07 \text{ мм}.$$

Визначимо за формулою (3.7) координати середин полів допусків ланок, прийнятих як узгоджуючі за допусками:

$$\Delta O_{K_{1y}} = \frac{0 + (-0{,}08)}{2} = -0{,}04 \text{ мм};$$

$$\Delta O_{K_{3y}} = \frac{0 + (-0{,}09)}{2} = -0{,}045 \text{ мм};$$

$$\Delta O_{K_{5y}} = \frac{-0{,}11 + (-0{,}19)}{2} = -0{,}15 \text{ мм};$$

$$\Delta O_{K_{7y}} = \Delta O_{K_{10y}} = \frac{0 + (-0{,}035)}{2} = -0{,}0175 \text{ мм};$$

$$\Delta O_{K_{8y}} = \frac{0 + (-0{,}07)}{2} = -0{,}035 \text{ мм}.$$

Визначимо координату середини поля допуску замикальної ланки розмірного ланцюга за формулою (3.10а):

$$\Delta_{O_{K_{\Delta_P}}} = \sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i}\Delta_{O_{K_i}} = -1(-0,04)+1(-0,02)+1(-0,045)+$$
$$+1(-0,02)-1(-0,15)-1(-0,06)-1(-0,0175)-1(-0,035)-$$
$$-1(0,025)-1(0,0175)-1(0,06)=0,32 \text{ мм.}$$

Оскільки $\Delta_{O_{K_{\Delta_P}}} \neq \Delta_{O_{K_\Delta}}$ $(0,32 \neq 0,45)$, виконуємо узгодження ланцюга за відхиленнями на ланці $К_3$.

Визначаємо за формулою (3.19) координату середини поля допуску узгоджуючої ланки $К_3$:

$$\Delta_{O_{K_{3y}}} = \frac{1}{C_{K_{3y}}}\left(\Delta_{O_{K_\Delta}} - \sum_{i=1}^{m-2} C_{K_i}\Delta_{O_{K_i}}\right) = \frac{1}{1}[0,45-(-1)(-0,04)-$$
$$-1(-0,02)-1(-0,02)-(-1)(-0,15)-(-1)(-0,06)-(-1)\times$$
$$\times(-0,0175)-(-1)(-0,035)-(-1)(-0,025)-(-1)(-0,0175)-$$
$$-(-1)(-0,06)] = 0,085 \text{ мм.}$$

Граничні відхилення узгоджуючої ланки за формулою (3.8) рівні:

$$\Delta_{B_{K_{3y}}} = \Delta_{O_{K_{3y}}} + \frac{T_{K_{3y}}}{2} = 0,085 + \frac{0,09}{2} = 0,13 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{H_{K_{3y}}} = \Delta_{O_{K_{3y}}} - \frac{T_{K_{3y}}}{2} = 0,085 - \frac{0,09}{2} = 0,04 \text{ мм.}$$

8. Перевірка правильності розв'язання задачі.

Розрахункове верхнє граничне відхилення замикальної ланки за формулою (3.5) дорівнює:

$$\Delta_{B_{K_{\Delta_P}}} = \sum_{i=1}^{n}\Delta_{\overleftarrow{B}_{K_i}} - \sum_{n+1}^{m-1}\Delta_{\overrightarrow{H}_{K_i}} = -0,01+0,13+(-0,01)-(-0,08)-$$
$$-(-0,19)-(-0,12)-(-0,035)-(-0,07)-(-0,04)-(-0,035)-$$
$$-(-0,12)=0,8 \text{ мм.}$$

Розрахункове нижнє граничне відхилення замикальної ланки за формулою (3.6) дорівнює:

$$\Delta_{H_{K_{\Delta_P}}} = \sum_{i=1}^{n}\Delta_{\overrightarrow{H}_{K_i}} - \sum_{n+1}^{m-1}\Delta_{\overleftarrow{B}_{K_i}} = -0,03+0,04+(-0,03)-$$
$$-0-(-0,11)-0-0-0-(-0,01)-0-0=0,1 \text{ мм.}$$

Оскільки $\Delta_{B_{K_{\Delta_P}}} = \Delta_{B_{K_\Delta}}$ і $\Delta_{H_{K_{\Delta_P}}} = \Delta_{H_{K_\Delta}}$, розрахунок виконано правильно.

9. Аналіз одержаних результатів та їх реалізація.

Аналіз показав, що для забезпечення точності замикальної ланки розмірного ланцюга методом повної взаємозамінності необхідно витримати наступні значення розмірів:

$A_{K1} = 8_{-0,08}$ мм; $A_{K_7} = 6_{-0,035}$ мм;

$A_{K_2} = 2^{-0,01}_{-0,03}$ мм; $A_{K_8} = 10_{-0,07}$ мм;

$A_{K_3} = 86^{0,13}_{0,04}$ мм; $A_{K_9} = 24^{-0,01}_{-0,04}$ мм;

$A_{K_4} = 2^{-0,01}_{-0,03}$ мм; $A_{K_{10}} = 6_{-0,035}$ мм;

$A_{K_5} = 8^{-0,11}_{-0,19}$ мм; $A_{K_{11}} = 14_{-0,12}$ мм.

$A_{K_6} = 14_{-0,12}$ мм;

Уточнені значення допусків складових ланок розмірного ланцюга відповідають технологічним можливостям виробництва. Але для їх досягнення необхідно використовувати точні методи обробки, зокрема чистове і одноразове точіння та підрізання торців. Тому в робочі креслення деталей необхідно внести зміни відповідно до результатів розв'язку задачі. Виконання розмірів з розрахунковими допусками і граничними відхиленнями дозволить забезпечити точність замикальної ланки при складанні методом повної взаємозамінності.

Приклад 2. Розрахунок розмірного ланцюга A_K ймовірнісним методом (задача аналізу).

5. Визначення характеристик ймовірнісного методу.

Приймаємо ймовірність знаходження замикальної ланки, в межах поля розсіювання ω = 6σ, P = 0,9973, тобто відсоток ризику складе 0,27 %, для якого за [2, табл. 12.8] приймаємо нормований параметр розподілу t = 3.

6. Встановлення коефіцієнтів ймовірнісного методу.

Встановлення коефіцієнтів відносного розсіювання (λ_i' чи κ_i), а також коефіцієнтів відносної асиметрії α_i.

Оскільки розрахунок теоретичний (проектний) і при цьому завжди приймається t = 3, то у формулі для T_Δ використовується κ_i (не λ_i'). З цих же причин α_i приймається рівним нулю, тобто $\alpha_i = 0$.

Оскільки закони розподілу складових ланок невідомі, то для всіх ланок приймається закон Сімпсона, тобто коефіцієнт відносного розсіювання і коефіцієнт відносної асиметрії будуть мати наступні значення:

$\kappa_i = 1{,}2;$

$\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa_3 = \kappa_4 = \kappa_5 = \kappa_6 = \kappa_7 = \kappa_8 = \kappa_9 = \kappa_{10} = \kappa_{11} = 1{,}2;$

$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \alpha_8 = \alpha_9 = \alpha_{10} = \alpha_{11} = 0.$

7. Узгодження номінальних розмірів.

Розрахункове значення номінального розміру замикальної ланки за формулою (3.1) дорівнює:

$$A_{K_{\Delta_P}} = \sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i} A_{K_i} = -1\cdot 8 + 1\cdot 2 + 1\cdot 85 + 1\cdot 2 - 1\cdot 8 - 1\cdot 14 - 1\cdot 6 -$$

$$-1\cdot 10 - 1\cdot 24 - 1\cdot 6 - 1\cdot 14 = -1 \text{ мм.}$$

Оскільки $A_{K_{\Delta_P}} \neq A_{K_\Delta}$ $\left(-1 \neq 0\right)$, то номінальні розміри не узгоджені. Розузгодження згідно з формулою (3.14) рівне:

$$r_{A_K} = A_{K_\Delta} - A_{K_{\Delta_P}} = 0 - \left(-1\right) = 1 \text{ мм.}$$

За узгоджуючу ланку вибираємо збільшуючу ланку Акз. Визначаємо узгоджуюче значення цієї ланки за формулою (3.13):

$$\vec{A}_{K_{3_y}} = \vec{A}_{K_3} + r_{A_K} = 85 + 1 = 86 \text{ мм}.$$

При $A_{K_3} = 86$ мм рівність $A_{K_{\Delta_P}}$ і A_{K_Δ} виконується і номінальні розміри ланцюга узгоджені.

8. Узгодження допусків.

Розрахункове значення допуску замикальної ланки за формулою (3.24) дорівнює:

$$T_{K_{\Delta_P}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \kappa_i^2 C_{K_i}^2 T_{K_i}^2},$$

або за умови, що $\kappa_i = 1{,}2$ має однакове значення для всіх ланок, маємо:

$$T_{K_{\Delta_P}} = \kappa_i \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i}^2 T_{K_i}^2} = 1{,}2\sqrt{0{,}1^2 + 0{,}02^2 + 0{,}1^2 + 0{,}02^2 + 0{,}1^2 + 0{,}12^2 + 0{,}04^2 + 0{,}1^2 + 0{,}03^2 + 0{,}04^2 + 0{,}12^2} = 0{,}326 \text{ мм}.$$

Неузгодження допусків дорівнює:

$$r_T = T_{K_\Delta} - T_{K_{\Delta_P}} = 0{,}7 - 0{,}326 = 0{,}374 \text{ мм}.$$

Оскільки $r_T > 0$, то $T_{K_{\Delta_P}} < T_{K_\Delta}$. Це означає, що при заданих допусках складових ланок, допуск замикальної ланки буде забезпечений з ризиком 0,27 %. При P = 0,27 % можна збільшити допуски нестандартизованих ланок A_{K1}, A_{K2}, A_{K3}, A_{K4}, A_{K5}, A_{K7}, A_{K8}, A_{K9}, A_{K10} вдвічі.

Тоді отримаємо наступні значення номінальних розмірів і граничних відхилень складових ланок:

$A_{K_1} = 8_{-0,2}$ мм; $A_{K_7} = 6_{-0,08}$ мм;

$A_{K_2} = 2_{-0,04}$ мм; $A_{K_8} = 10_{-0,2}$ мм;

$A_{K_3} = 86_{-0,2}$ мм; $A_{K_9} = 24_{-0,06}$ мм;

$A_{K_4} = 2_{-0,04}$ мм; $A_{K_{10}} = 6_{-0,08}$ мм;

$A_{K_5} = 8^{-0,05}_{-0,25}$ мм; $A_{K_{11}} = 14_{-0,12}$ мм.

$A_{K_6} = 14_{-0,12}$ мм;

Допуски і координати середин полів допусків складових ланок дорівнюють:

$T_{K_1} = 0{,}2$ мм; $\Delta_{O_{K_1}} = -0{,}1$ мм;

$T_{K_2} = T_{K_4} = 0{,}04$ мм; $\Delta_{O_{K_2}} = \Delta_{O_{K_4}} = -0{,}02$ мм;

$T_{K_3} = 0{,}2$ мм; $\Delta_{O_{K_3}} = -0{,}1$ мм;

$T_{K_5} = 0{,}2$ мм; $\Delta_{O_{K_5}} = -0{,}15$ мм;

$T_{K_6} = T_{K_{11}} = 0{,}12$ мм; $\Delta_{O_{K_6}} = \Delta_{O_{K_{11}}} = -0{,}06$ мм;

$T_{K_7} = T_{K_{10}} = 0{,}08$ мм; $\Delta_{O_{K_7}} = \Delta_{O_{K_{10}}} = -0{,}04$ мм;

$T_{K_8} = 0{,}2$ мм; $\Delta_{O_{K_8}} = -0{,}1$ мм;

$T_{K_9} = 0{,}06$ мм; $\Delta_{O_{K_9}} = -0{,}03$ мм.

Розрахункове значення допуску замикальної ланки рівне:

$$T_{K_{\Delta_P}} = \kappa_i \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i}^2 T_{K_i}^2} = 1{,}2\sqrt{0{,}2^2 + 0{,}04^2 + 0{,}2^2 + 0{,}04^2 + 0{,}2^2 + \overline{+ 0{,}12^2 + 0{,}08^2 + 0{,}2^2 + 0{,}06^2 + 0{,}08^2 + 0{,}12^2}} = 0{,}548 \text{ мм.}$$

Неузгодження допусків дорівнює:

$$r_T = T_{K_\Delta} - T_{K_{\Delta_P}} = 0{,}7 - 0{,}548 = 0{,}152 \text{ мм.}$$

Виконаємо узгодження розмірного ланцюга на ланці K_3, яка є одним з розмірів найскладнішої деталі, що входить у розмірний ланцюг.

Визначимо допуск узгоджувальної ланки за формулою (4.25) [2]:

$$T_{K_{3y}} = \sqrt{\frac{1}{C_{K_3}^2 \kappa_3^2}\left(T_{K_\Delta}^2 - \sum_{i=1}^{m-2} C_{K_i}^2 \kappa_i^2 T_{K_i}^2\right)},$$

або за умови, що $\kappa_i = 1{,}2$ має однакове значення для всіх ланок, маємо:

$$T_{K_{3y}} = \sqrt{\frac{1}{C_{K_3}^2 \kappa_3^2}\left(T_{K_\Delta}^2 - \kappa_i \sum_{i=1}^{m-2} C_{K_i}^2 T_{K_i}^2\right)} = \sqrt{\frac{1}{1 \cdot 1{,}2^2}\left[0{,}7^2 - 1{,}2^2 \times \overline{\times\left(0{,}2^2 + 0{,}04^2 + 0{,}04^2 + 0{,}2^2 + 0{,}12^2 + 0{,}08^2 + 0{,}2^2 + 0{,}06^2 + \overline{+ 0{,}08^2 + 0{,}12^2}\right)}\right]} = 0{,}414 \text{ мм.}$$

9. Узгодження граничних відхилень.

Задамо нижнє та верхнє граничні відхилення узгоджуючої ланки:

$\Delta_{B_{K_3}} = 0$ мм; $\Delta_{H_{K_3}} = -0{,}414$ мм.

Координата середини поля допуску ланки K_3 при цьому:

$$\Delta_{O_{K_3}} = \frac{0 + (-0{,}414)}{2} = -0{,}207 \text{ мм.}$$

Визначимо за формулою [2, формула (4,26)] коефіцієнт відносної асиметрії замикальної ланки:

$$\alpha_\Delta = \frac{0{,}59\sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i} \alpha_i T_{K_i}}{\sum_{i=1}^{m-1} \left|C_{K_i}\right| T_{K_i}},$$

або за умови, що $\alpha_i = 0$ має однакове значення для всіх ланок, маємо:

$\alpha_\Delta = 0$.

Розрахункова координата середини поля допуску замикальної ланки за формулою (4.27) дорівнює [2]:

$$\Delta_{O_{K_{\Delta_P}}} = \sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i}\left(\Delta_{O_{K_i}} + 0{,}5\alpha_i T_{K_i}\right) - 0{,}5\alpha_\Delta T_{K_\Delta},$$

або за умови, що $\alpha_\Delta = 0$ а також $\alpha_i = 0$ має однакове значення для всіх ланок, маємо:

$$\Delta_{O_{K_{\Delta_P}}} = \sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i} \Delta_{O_{K_i}} = -1(-0,1) + 1(-0,02) + 1(-0,207) +$$
$$+ 1(-0,02) - 1(-0,15) - 1(-0,06) - 1(-0,04) - 1(-0,1) - 1 \times$$
$$\times (-0,03) - 1(-0,04) - 1(-0,06) = 0,333 \text{ мм.}$$

Оскільки $\Delta_{O_{K_{\Delta_P}}} \neq \Delta_{O_{K_\Delta}}$ $(0,333 \neq 0,45)$, то необхідно виконати узгодження відхилень. Для цього вибираємо як узгоджуючу ланку K_3 і визначаємо для неї за формулою [2, формула (4.28)] координату середини поля допуску:

$$\Delta_{O_{K_{3_y}}} = \frac{1}{C_{K_{3_y}}} \left[\Delta_{O_{K_\Delta}} - \sum_{i=1}^{m-2} C_{K_i} \left(\Delta_{O_{K_i}} + \frac{\alpha_i T_{K_i}}{2} \right) + \frac{\alpha_\Delta T_{K_\Delta}}{2} \right] -$$
$$- \frac{\alpha_{3_y} T_{K_{3_y}}}{2},$$

або за умови, що $\alpha_\Delta = 0$, а також $\alpha_i = 0$ має однакове значення для всіх ланок, маємо:

$$\Delta_{O_{K_{3_y}}} = \frac{1}{C_{K_{3_y}}} \left(\Delta_{O_{K_\Delta}} - \sum_{i=1}^{m-2} C_{K_i} \Delta_{O_{K_i}} \right) = \frac{1}{1} [0,45 - (-1)(-0,1) -$$
$$- 1(-0,02) - 1(-0,02) - (-1)(-0,15) - (-1)(-0,06) - (-1) \times$$
$$\times (-0,04) - (-1)(-0,1) - (-1)(-0,03) - (-1)(-0,04) - (-1) \times$$
$$\times (-0,06)] = -0,09 \text{ мм.}$$

Верхнє та нижнє граничні відхилення узгоджуючої ланки рівні:

$$\Delta_{B_{K_{3_y}}} = \Delta_{O_{K_{3_y}}} + \frac{T_{K_{3_y}}}{2} = -0,09 + \frac{0,414}{2} = 0,117 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{H_{K_{3_y}}} = \Delta_{O_{K_{3_y}}} - \frac{T_{K_{3_y}}}{2} = -0,09 - \frac{0,414}{2} = -0,297 \text{ мм.}$$

10. Перевірка правильності розв'язання задачі**.**

Перевірку правильності розрахунку виконаємо за формулою (3.24):

$$T_{K_{\Delta_P}} = \kappa_i \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} C_{K_i}^2 T_{K_i}^2} = 1,2\sqrt{0,2^2 + 0,04^2 + 0,414^2 + 0,04^2 +}$$
$$+ 0,2^2 + 0,12^2 + 0,08^2 + 0,2^2 + 0,06^2 + 0,08^2 + 0,12^2} = 0,7 \text{ мм.}$$

Оскільки $T_{K_{\Delta_P}} = T_{K_\Delta} = 0,7$ мм, то розрахунок виконаний вірно.

11. Аналіз одержаних результатів та їх реалізація.

Аналіз показав, що для забезпечення точності замикальної ланки розмірного ланцюга необхідно витримати наступні значення розмірів:

$A_{K_1} = 8_{-0,2}$ мм; $A_{K_7} = 6_{-0,08}$ мм;

$A_{K_2} = 2_{-0,04}$ мм; $A_{K_8} = 10_{-0,2}$ мм;

$A_{K_3} = 86^{+0,117}_{-0,297}$ мм; $A_{K_9} = 24_{-0,06}$ мм;

$A_{K_4} = 2_{-0,04}$ мм; $A_{K_{10}} = 6_{-0,08}$ мм;

$A_{K_5} = 8^{-0,05}_{-0,25}$ мм; $A_{K_{11}} = 14_{-0,12}$ мм.

$A_{K_6} = 14_{-0,12}$ мм;

Уточнені значення допусків складових ланок розмірного ланцюга відповідають технологічним можливостям виробництва. Їх досягнення можливе за допомогою чорнових і напівчистових методів обробки. Тому в робочі креслення деталей необхідно внести зміни відповідно до результатів розв'язку задачі. Виконання розмірів з розрахунковими допусками і граничними відхиленнями дозволить забезпечити точність замикальної ланки при складанні методом неповної взаємозамінності.

Зауваження:

1. Якщо ймовірнісний метод використовується для визначення параметрів статистичного розподілу розмірів при обробці (складанні) в конкретних умовах і на конкретних технологічних системах, тобто у виробничих розрахунках, то для визначення допуску замикальної ланки застосовують формулу (3.26), для визначення λ' – формулу (3.27). Закони розподілу розмірів складових ланок, а отже, і коефіцієнти κ_i та λ_i виявляються побудовою емпіричних кривих (див. пп. 2.4.3–2.4.5), або орієнтовно κ_i та λ_i приймаються за [2, табл. 12.4] в залежності від умов виробництва і стану обладнання.

2. Якщо, з метою розширення допусків на складові ланки, ймовірнісний метод застосовується для розрахунку розмірних ланцюгів з $m < 5$, то в такому випадку для розрахунку допуску замикальної ланки використовують формули (3.32)–(3.34).

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення поверхонь деталі: виконавчих, допоміжних, вільних.
2. Дайте визначення розмірного ланцюга.
3. Дайте визначення типу ланок: замикальної, складової, збільшуючої, зменшуючої, компенсатора.
4. Як умовно позначаються на схемах ланки розмірного ланцюга?
5. Як визначається характер (тип) ланок на схемі розмірного ланцюга?
6. Дайте характеристику розмірних ланцюгів за областю застосування та місцем у виробі.
7. Дайте характеристику розмірних ланцюгів за розташуванням ланок та їх типом.
8. Дайте характеристику розмірних ланцюгів за характером взаємозв'язків.
9. Які задачі розв'язуються за допомогою розмірних ланцюгів? Охарактеризуйте їх сутність.
10. Охарактеризуйте сутність розрахунку розмірних ланцюгів за методом максимуму-мінімуму.
11. Складіть алгоритм розв'язання задачі аналізу за методом максимуму-мінімуму.
12. Сформулюйте умови, за яких можна застосувати метод максимуму-мінімуму.
13. Наведіть формули для визначення номіналу, допуску, середини поля допуску та граничних значень замикальної ланки при розрахунку розмірних ланцюгів за методом максимуму-мінімуму.

14. Складіть алгоритм розв'язання задачі синтезу за методом максимуму-мінімуму.

15. Назвіть методи, що застосовуються для визначення параметрів складових ланок розмірного ланцюга.

16. Наведіть формулу для визначення $T_{сер}$ при розрахунку за методом максимуму-мінімуму.

17. Наведіть формули для визначення параметрів узгоджуючої ланки при розрахунку за методом максимуму-мінімуму.

18. Охарактеризуйте сутність розрахунку розмірних ланцюгів за ймовірнісним методом.

19. Складіть алгоритм розв'язання задачі аналізу за ймовірнісним методом.

20. Сформулюйте умови, за яких можна застосовувати ймовірнісний метод.

21. Наведіть формули для визначення номіналу, допуску, середини поля допуску та граничних значень замикальної ланки при розрахунку розмірних ланцюгів за ймовірнісним методом.

22. Складіть алгоритм розв'язання задачі синтезу ймовірнісним методом.

23. Наведіть формули для визначення $T_{сер}$ при розрахунку ймовірнісним методом.

24. Наведіть формули для визначення параметрів узгоджуючої ланки при розрахунку за ймовірнісним методом.

25. Складіть алгоритм розрахунку кутових розмірних ланцюгів, ланки яких виражені в градусах.

26. Складіть алгоритм розрахунку кутових розмірних ланцюгів, ланки яких виражені у відносних одиницях.

27. Як виражається тип ланок при розрахунку кутових розмірних ланцюгів, ланки яких виражені у відносних одиницях?

28. В чому полягає особливість розрахунку площинних розмірних ланцюгів?

29. В чому полягає особливість розрахунку розмірних ланцюгів з векторними похибками?

30. Складіть алгоритм розрахунку розмірних ланцюгів з ланками-зазорами.

31. В чому полягає особливість розрахунку взаємозв'язаних розмірних ланцюгів?

32. Складіть алгоритм розрахунку розмірних ланцюгів при складанні за методом повної взаємозамінності.

33. Складіть алгоритм розрахунку розмірних ланцюгів при складанні за методом неповної взаємозамінності.

34. Складіть алгоритм розрахунку розмірних ланцюгів при складанні за методом групової взаємозамінності.

35. Складіть алгоритм розрахунку розмірних ланцюгів при складанні за методом припасування.

36. Складіть алгоритм розрахунку розмірних ланцюгів при складанні за методом регулювання з використанням набору прокладок.

37. Складіть алгоритм розрахунку розмірних ланцюгів при складанні за методом регулювання з використанням ланки-зазору.

38. Як на складальних кресленнях виявляються замикальні ланки?

39. Як зі складального креслення виявляються розмірні ланцюги?

40. Як попередньо вибирається метод розрахунку складального ланцюга та метод досягнення точності замикальної ланки?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М., 1969. – 560 с.

2. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К., 1993. – 544 с.

3. ГОСТ 16319-80.

4. ГОСТ 16320-80.

5. Допуски и посадки в машиностроении: Справочник А.С. Зенкин, И.В. Петко К.: Техника, 1990. – 320 с.

6. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М.: машиностроение 1985. – 496 с.

7. Размерный анализ конструкций. Справочник / Под общ. ред. С.Т Бондаренко – К.: Техника, 1989. – 150 с.

8. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М., 1980. – 110 с.

9. Худобин Л.В., Гурьянихин В.Ф., Берзин В.Р. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – М., 1989. – 288 с.

Тема 4. Основи базування деталей та заготовок

4.1. Поняття про базу та базування

У процесі виготовлення машини виникають задачі з'єднання з необхідною точністю двох або більшої кількості деталей. Такі задачі виникають також при складанні регулюванні машин та їх механізмів, при обробці деталей на різних технологічних системах, коли деталь необхідно встановити і закріпити із заданою точністю на столі верстата або в пристрої. Аналогічні задачі доводиться розв'язувати при встановленні та закріпленні різального інструменту на шпинделі верстата, борштанзі, різцетримачі, а також щоразу, коли необхідно виконати вимірювання деталі або заготовки за допомогою будь-якого вимірювального інструменту або пристрою.

Для розв'язування задач такого виду служать основи базування.

За державним стандартом база – це поверхня або сполучення поверхонь, вісь, точка, які належать заготовці або виробу і використовуються для базування.

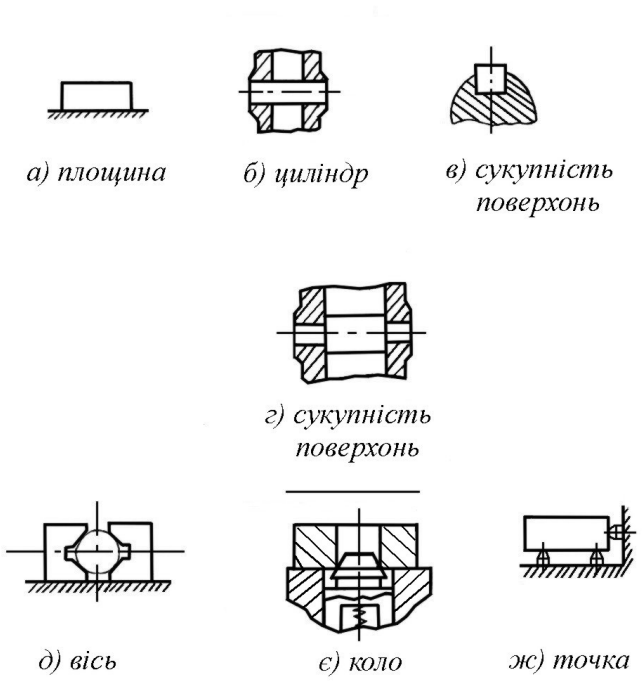


Рис. 4.1. Види баз

Базування – це надання заготовці або виробу потрібного положення відносно вибраної системи координат: при складанні – надання деталі потрібного

положення у виробі відносно інших, раніше встановлених деталей або виробів; при механічній обробці – надання заготовці потрібного положення на верстаті відносно його елементів, що визначають траєкторію відносного руху деталі та оброблювального інструменту; при вимірюванні – надання заготовці або деталі потрібного положення відносно вимірювального інструменту.

Базами можуть бути: площина (рис. 4.1, *а*), циліндр (рис. 4.1, *б*), сукупність поверхонь (рис. 4.1, *в*, *г*), лінія: вісь (рис. 4.1, *д*), коло (рис. 4.1, *е*), точка (точки) (рис. 4.1, *ж*).

4.2. Основні положення теорії базування [1]

В основу теорії покладений розділ теоретичної механіки про визначення положення твердого тіла в просторі.

Як відомо, теоретична механіка розглядає два стани тіла: спокою та руху. Ці поняття мають сенс лише тоді, коли вказується система відліку. Якщо положення тіла відносно системи відліку протягом часу не змінюється – тіло перебуває в стані спокою, якщо змінюється – в стані руху.

Потрібні положення або рух тіла відносно системи розрахунку досягається накладанням на нього геометричних або кінематичних зв'язків.

Зв'язками називають умови, які накладаються або на положення, або на швидкості точок тіла. В першому випадку зв'язки називають геометричними (голономними), в другому – кінематичними (неголономними). Якщо на тіло накладені геометричні зв'язки, то завдяки їм деякі переміщення тіла виявляються неможливими.

Можливим переміщенням тіла називаються елементарні переміщення, які можна здійснити без порушення накладених на тіло зв'язків. Кількість таких можливих переміщень називають числом ступенів вільності даного тіла.

Якщо тверде тіло може одержувати будь-яке переміщення в просторі, то таке тіло називають вільним. Таке тіло має шість ступенів вільності: три переміщення вздовж координатних осей і три – повороту навколо цих осей.

Таким чином, щоб зробити тіло нерухомим, потрібно позбавити тіло шести ступенів вільності, а для цього накласти на нього шість зв'язків.

Виберемо за систему відліку прямокутну систему координат OXYZ. В цій системі розташуємо абсолютно тверде тіло, з яким жорстко зв'язана система координат O'X'Y'Z' (рис. 4.2). Тому зв'язки можна накладати на цю систему.

Визначити положення рухомої системи координат O'X'Y'Z' відносно системи OXYZ можна двома способами:

1) задати положення початку координат O' відносно O радіусом-вектором r і трьома кутами Ейлера (прецесії –ψ, мутації – θ і власного обертання – φ).

Тоді умови перебування тіла в стані спокою будуть наступні: r = const; ψ = const; θ = const; φ = const.

2) накласти геометричні зв'язки на координатні площини системи O'X'Y'Z'

Тим самим тіло позбавляється трьох переміщень вздовж осей декартової системи координат і трьох поворотів навколо цих осей, тобто тіло стає нерухомим у системі (див. рис. 4.2).

Умови перебування тіла в стані спокою в цьому випадку матимуть вигляд: z_1 = const; z_2 = const; z_3 = const; x_4 = const; x_5 = const; y_6 = const.

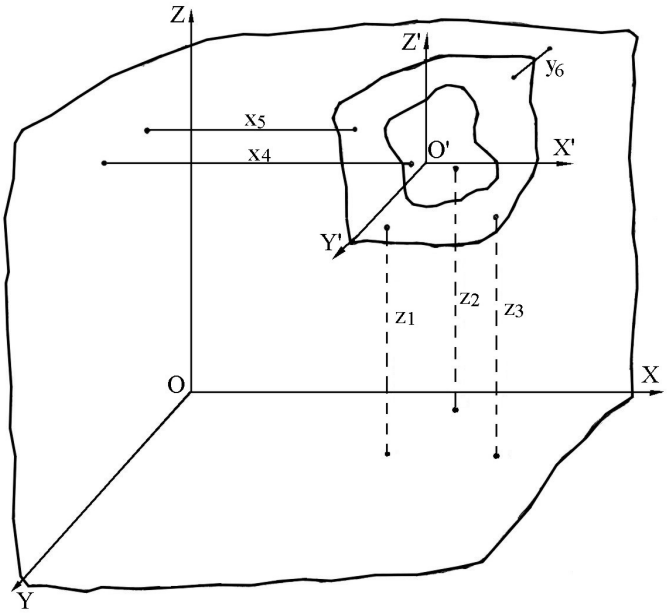


Рис. 4.2. Зв'язки твердого тіла

Таким чином, зв'язками забезпечується задане положення тіла в системі OXYZ у кожний розглядуваний момент часу.

За реальних умов зв'язки практично здійснюються за допомогою матеріальних тіл. Реалізація двосторонніх геометричних зв'язків досягається стиканням поверхонь тіла з поверхнями іншого тіла, до якого воно приєднується, і прикладанням сил і пар сил для забезпечення контакту між ними.

Реальні тіла-деталі обмежені криволінійними поверхнями, тому можуть контактувати лише на окремих елементарних площадках, які умовно вважаються точками контакту (рис. 4.3).

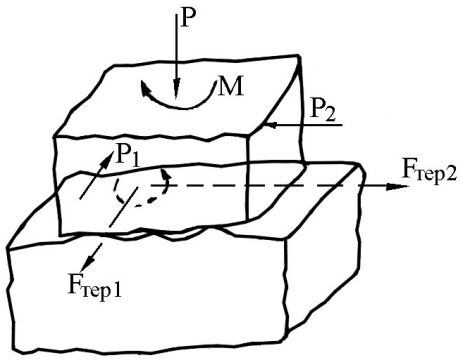


Рис. 4.3. Контакт двох твердих тіл

Для того щоб реальні зв'язки відповідали теоретичним (жорсткий двосторонній зв'язок), для фіксації досягнутого положення необхідне прикладання сил і пар сил – силового замикання.

Таким чином, матеріалізація геометричних зв'язків досягається за допомогою шести точок, розташованих відповідним чином на поверхнях деталі і силового замикання.

Працюючи з кресленнями, маємо справу з ідеалізацією форми поверхонь, тому вважається, що здійснення необхідних зв'язків досягається контактом деталей по поверхнях, а наявність реальних зв'язків символізується опорними точками, які мають теоретичний характер.

Схема розміщення опорних точок на базах заготовки або виробу називається теоретичною схемою базування. На теоретичній схемі базування опорні точки зображають умовними знаками (рис. 4.4.).

Опорні точки нумеруються, починаючи з бази, на якій розташовується їх найбільша кількість. Номер точки проставляється справа від умовного знака.

Якщо в якій-небудь проекції опорна точка накладається на іншу, то зображається одна точка і біля неї проставляються номери суміщених точок.

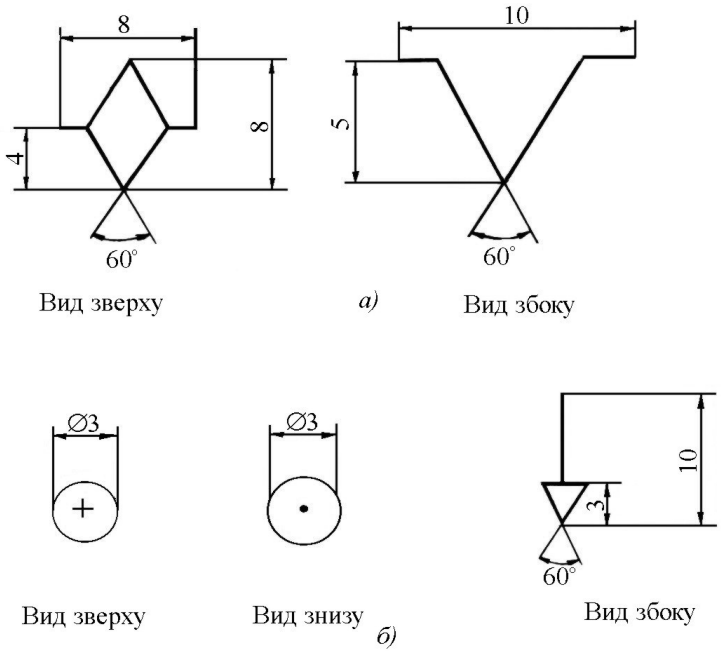


Рис. 4.4. Умовні позначення опорних точок (а) та зусиль (б)

Приклад застосування умовних позначень опорних точок і прикладених зусиль відносно до деталі призматичної форми наведено на рис. 4.5.

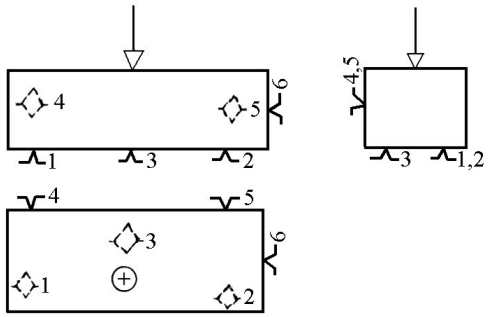


Рис. 4.5. Теоретична схема базування призматичного тіла

4.3. Базування тіл різної форми

4.3.1. Базування призматичного тіла

Відповідно до висновків теоретичної механіки, для визначення положення призматичного тіла відносно системи координат OXYZ необхідно зв'язати його нижню поверхню А трьома жорсткими двосторонніми утримуючими зв'язками з площиною XOУ прямокутної системи координат (рис. 4.6).

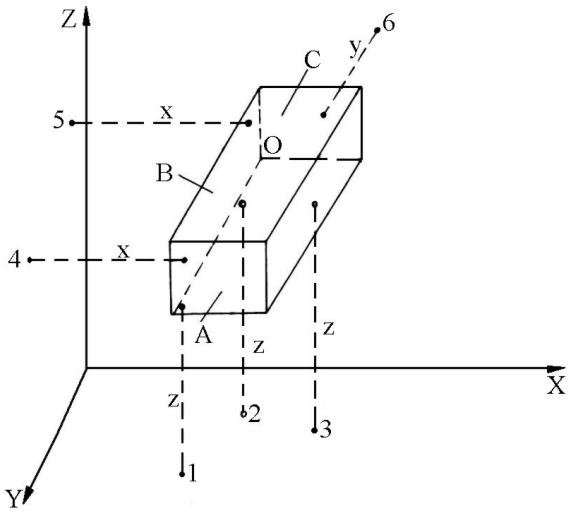


Рис. 4.6. Базування призматичного тіла

Зв'язки z позбавляють тіло переміщення вздовж координатної осі OZ, обертання навколо осей OY та OX.

Поверхня А, яка несе на собі 3 опорні точки і позбавляє тіло 3 ступенів вільності (переміщення вздовж однієї з координатних осей і обертання навколо двох інших координатних осей), називається установчою базою.

Розташування опорних точок визначається з умови рівноваги тіла під дією сил тяжіння.

Для того щоб виключити переміщення тіла вздовж осі OX і обертання навколо осі OZ, зв'яжемо поверхню В відповідно двома зв'язками x_4, x_5 з площиною ZOY.

Поверхня В, яка позбавляє тіло (заготовку) двох ступенів вільності (переміщення вздовж однієї координатної осі і обертання навколо іншої осі), називається напрямною базою.

Таким чином, тіло має можливість тільки переміщуватись вздовж осі OY. Для виключення і цього переміщення зв'яжемо поверхню С одним жорстоким двостороннім зв'язком з площиною ZOX.

Поверхня С, яка несе на собі одну опорну точку і позбавляє тіло 1 ступеня вільності (переміщення вздовж однієї з координатних осей), називається опорною базою. Сукупність трьох баз, що утворює систему координат заготовки (виробу), складає комплект баз.

Реалізація розглянутої теоретичної схеми базування здійснюється встановленням заготовки на установчі елементи пристрою.

Невідривний контакт баз із установчими елементами пристрою забезпечується прикладанням сил затискання.

4.3.2. Базування циліндричного тіла

Зв'язавши циліндричну поверхню А (рис. 4.7) двома жорсткими двосторонніми зв'язками з площиною XOY і двома – з площиною YOZ, циліндричне тіло позбавляється 4 ступенів вільності, зв'язки Z позбавляють тіло переміщення вздовж осі OZ і обертання навколо осі OX, зв'язки X – переміщення вздовж осі OX і обертання навколо осі OZ.

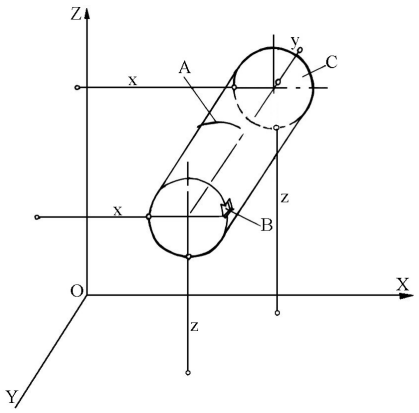


Рис. 4.7. Базування циліндричного тіла (довгого)

Поверхня А, яка несе на собі чотири опорні точки і позбавляє тіло чотирьох ступенів вільності (переміщень вздовж двох координатних осей і обертання навколо цих самих осей), називається подвійною напрямною базою.

Для усунення можливості переміщення тіла вздовж осі OY необхідно з'єднати його торець С двостороннім зв'язком – координатою у з площиною XOZ.

Поверхня С позбавляє тіло одного ступеня вільності. Переміщення вздовж осі OY називається опорною базою.

Для позбавлення тіла шостого ступеня точності (можливості обертання навколо власної осі) повинен бути передбачений шостий двосторонній зв'язок у вигляді опорної точки, що розташована на поверхні шпонкової канавки В.

Поверхня В, яка несе в собі одну опорну точку і позбавляє тіло одного ступеня вільності (обертання навколо однієї з координатних осей), називається другою опорною базою.

Реалізація теоретичної схеми базування найчастіше здійснюється за допомогою призм.

4.3.3. Базування диска

Диск – це циліндрична деталь, у якої довжина циліндричної поверхні менша за діаметр. У зв'язку з цим можливості орієнтування деталі у циліндричної поверхні значно обмежені порівняно з циліндром, проте у торцевої поверхні такі можливості зростають.

У відповідності з цим при орієнтуванні у просторі короткого циліндричного тіла (типу тонкого диску) необхідно з'єднати його торцеву поверхню А (рис. 4.8) трьома двосторонніми зв'язками (координатами) з площиною XOZ. При цьому тіло позбавляється трьох ступенів вільності: можливості переміщення вздовж осі OY і обертання навколо осей OX та OZ.

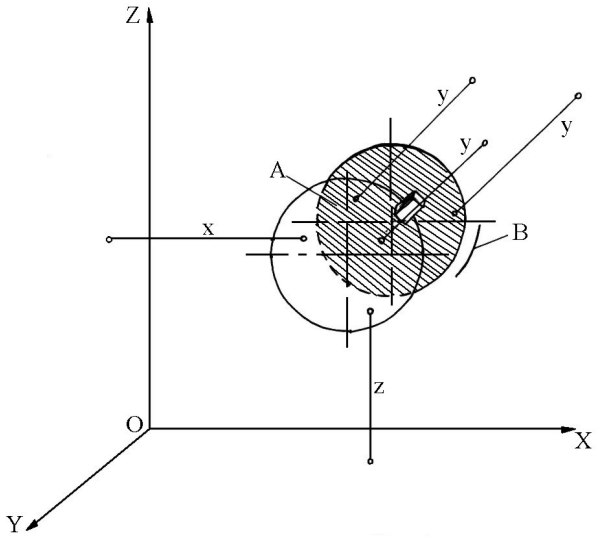


Рис. 4.8. Базування диска

Для позбавлення тіла можливості переміщення вздовж осей OX та OZ необхідно з'єднати його циліндричну поверхню B двосторонніми зв'язками, тобто координатами X та Z_1 з площинами XOY та YOZ; шостий двосторонній зв'язок, що позбавляє тіло можливості обертатись навколо власної осі, яка паралельна осі OY, створюється розташуванням опорної точки на поверхні шпонкової канавки C.

При відповідній заміні двосторонніх зв'язків опорними точками *торцьова поверхня A (рис. 4.8) диска, що контактує з трьома опорними точками, і яка позбавляє диск трьох ступенів вільності, називається установчою базою; циліндрична поверхня B, що контактує з двома опорними точками і позбавляє диск двох ступенів вільності, називається подвійною опорною (чи центруючою) базою, а поверхня шпонкової канавки C, що позбавляє диск одного ступеня вільності, – опорною базою.*

Необхідно зазначити, що схеми базування заготовок із внутрішніми циліндричними поверхнями принципово подібні розглянутим.

4.3.4. Базування конічного тіла

Специфічні особливості має орієнтування у просторі конічних заготовок і деталей.

При встановленні заготовки чи деталі по довгій конічній поверхні з відносно невеликою конусністю (отвори в шпинделях верстатів, конусні хвостовики різальних інструментів, конічні оправки "тертя") конічна поверхня позбавляє деталь п'яти ступенів вільності (переміщення вздовж всіх трьох осей системи координат і обертання навколо двох осей системи координат), залишаючи їй тільки одну ступінь вільності – можливість обертання навколо власної осі, яка може розглядатись як третя вісь системи координат. Таким чином, в цьому випадку конічна поверхня суміщає в собі функції подвійної напрямної та опорної поверхні циліндричної деталі і може бути названа *опорно-напрямною базою*. Очевидно, що для повної орієнтації конічної заготовки чи деталі в просторі необхідно позбавити її ще одного ступеня вільності, розмістивши на одній із її поверхонь шосту опорну точку (шпонковий паз, лиска), яка називається опорною базою.

Таким чином, повне базування конусної деталі, яке позбавляє її шести ступенів вільності, досягається при використанні комплекту двох баз: упорно-напрямної та опорної.

При базуванні заготовки по короткій конічній поверхні з відносно великим кутом конуса (як це має місце при встановленні заготовки в центрах) умови базування значно змінюються.

Конічна поверхня короткого центрового отвору не в змозі виконувати функції спрямування осі заготовки, і її можливості обмежуються виконанням функції центрування (аналогічно циліндричній поверхні диска, яка є подвійною опорною чи центруючою базою), а в деяких випадках доповнюються виконанням функції опорної бази. Незважаючи на зовнішню подібність задачі в орієнтуванні заготовки, ролі, виконувані лівим і правим центровими отворами, неоднакові. Лівий центровий отвір, стикається з нерухомим в осьовому напрямку центром передньої балки, виконує функції центрування і визначає положення заготовки в

осьовому напрямку. Таким чином, він позбавляє заготовку трьох ступенів вільності (переміщення вздовж трьох осей координат) і несе на собі три опорні точки. За виконуваною функцією конічна поверхня переднього (лівого) отвору називається *опорно-центруючою базою.*

Функція заднього центрового отвору, який стикається з рухомим в осьовому напрямку центром задньої бабки, обмежена виконанням центрування. Це поверхня контактує з двома опорними точками і позбавляє заготовку двох ступенів вільності (обертання навколо осей Y та Z системи координат). У відповідності з цим конічна поверхня заднього центрового отвору називається *центруючою базою.*

Отже, встановлення заготовки в центрах позбавляє її п'яти ступенів вільності, зберігаючи можливість обертання заготовки навколо власної осі.

Очевидно, що у випадку необхідності точної орієнтації положення заготовки з точки зору її обертання відносно осі (що буває необхідно, наприклад, у випадку несиметричних заготовок на фрезерних верстатах при їх встановленні в центрах, при нарізанні багатозахідних нарізок тощо) необхідно використовувати одну з допоміжних поверхонь заготовок як опорну базу, вводячи її в контакт з шостою опорною точкою та позбавляючи заготовку шостого ступеня вільності.

4.4. Правило шести точок. Повне і неповне базування

Для забезпечення нерухомості заготовки або виробу у вибраній системі координат на них необхідно накласти шість двосторонніх геометричних зв'язків, для створення яких необхідний комплект баз, що несуть шість опорних точок. Ця умова отримала назву *правила шести точок.*

Але необхідно пам'ятати, що при цьому маються на увазі жорсткі двосторонні зв'язки, виключаючи можливість будь-якого переміщення тіла вздовж цих зв'язків.

При реалізації ж теоретичної схеми базування двосторонні зв'язки перетворюються в опорні точки і тим самим в односторонні зв'язки. Це означає, що досягнуте правильне положення деталі може змінитись під дією сил і моментів сил різання або складання. Для збереження одержаного при базуванні правильного положення деталі необхідно забезпечити неперервність контакту сполучених поверхонь деталей для жорсткого двостороннього зв'язку.

Тому при реалізації теоретичної схеми базування не можна обмежуватись тільки створенням необхідних шести опорних точок, а необхідно ще забезпечувати щільне й неперервне стикання відповідних поверхонь деталі (опорних точок) за допомогою силового замикання.

Якщо відповідно до службового призначення виріб повинен мати визначене число ступенів вільності, то відповідне число зв'язків знімається й замінюються кінематичними зв'язками.

Наприклад, шпинделі верстатів повинні бути позбавлені п'яти ступенів вільності, при збереженні можливості обертання навколо своєї осі. Полозки супорта верстата повинні зберігати один ступінь вільності, що дозволяє здійснити їх переміщення по напрямних.

При обробці на верстаті також не завжди використовуються всі шість опорних точок.

Якщо при базуванні використовується весь комплект із трьох баз, які несуть шість опорних точок, то таке базування називається повним, якщо – не весь комплект баз, то таке базування називається неповним.

В конструкторських задачах повне базування використовується в нерухомих сполученнях, неповне базування – при рухомих деталях.

Приклади неповного і повного базування різних заготовок при їх обробці показані на наступних рисунках:

рис. 4.9 – обробка заготовок при використанні однієї бази (рис. 4.9, *а* – фрезерування; 4.9, *б* – точіння);

рис. 4.10 – обробка заготовок при використанні двох баз (рис. 4.10, *а* – фрезерування; рис. 4.10, *б* – точіння);

рис. 4.11 – обробка заготовок при використанні трьох баз (фрезерування).

Як видно з рис. 4.11, для забезпечення вказаних напрямків треба позбавити заготовку всіх шести ступенів вільності. Недотримання цієї вимоги призведе до недотримання одного або двох розмірів і поворотів (відносного положення). В той же час поява на цій схемі хоча б однієї заготовки опорної точки (сьомої) обов'язково призведе до невизначеності базування, що не забезпечить надійного досягнення тих чи інших заданих параметрів точності.

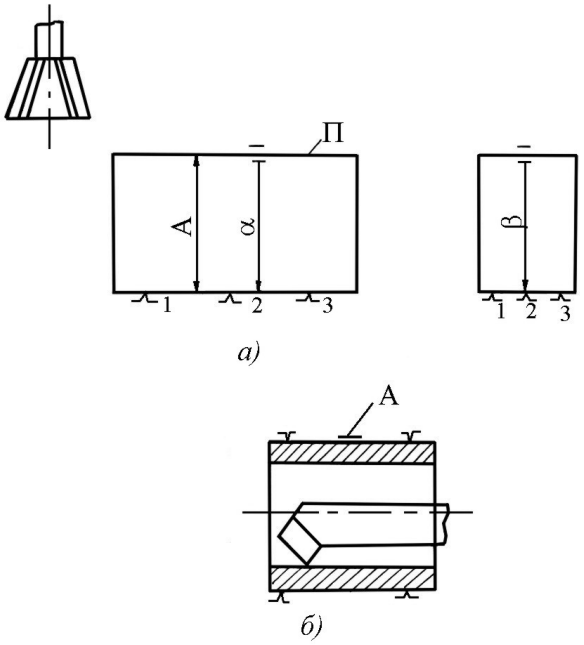


Рис. 4.9. Обробка заготовок при використанні однієї бази: а) – фрезерування; б) – точіння

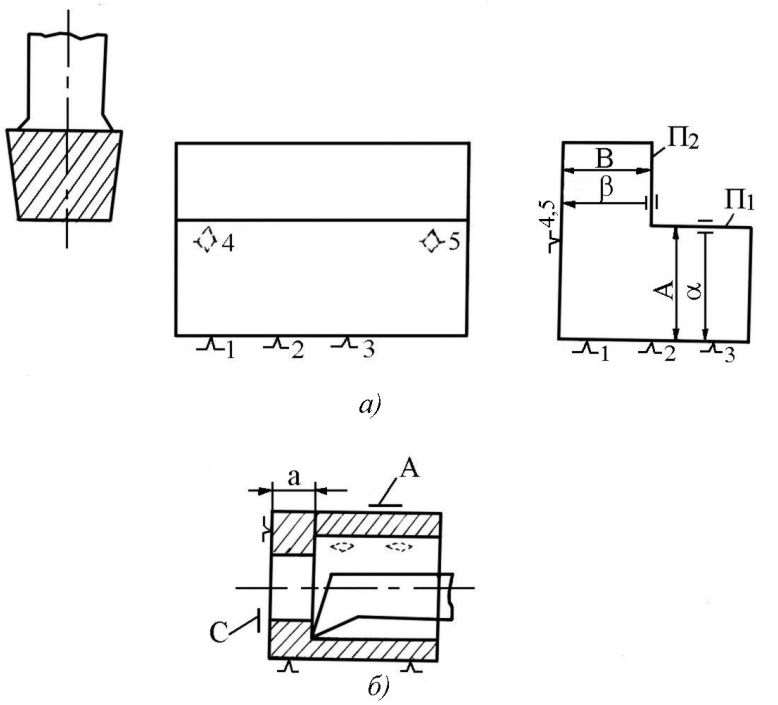


Рис. 4.10. Обробка заготовок при використанні двох баз: а) – фрезерування; б) – точіння

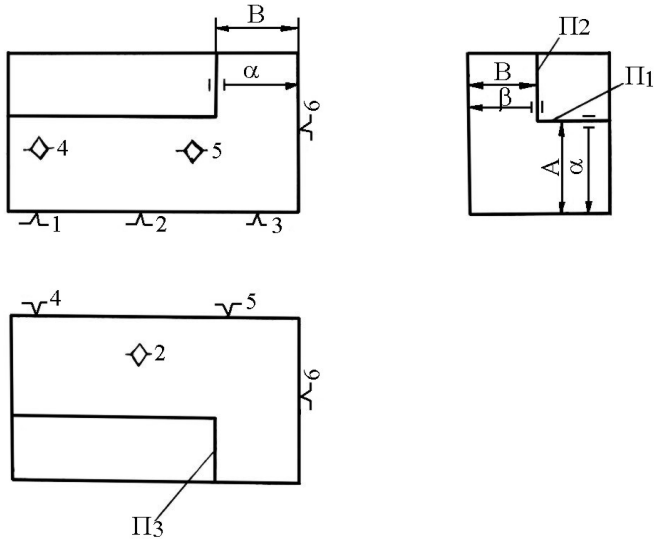


Рис. 4.11.Обробка заготовок при використанні трьох баз

4.5. Класифікація баз

Бази відрізняються за призначенням, позбавленням ступенів вільності та характером прояву.

За призначенням відрізняють бази конструкторські, технологічні та вимірювальні.

Конструкторська база (КБ) служить для визначення положення деталі або складової одиниці у виробі.

Конструкторською базою називається база деталі або складальної одиниці, відносно яких визначають на кресленнях розрахункове положення інших деталей або складальних одиниць, або інших поверхонь і геометричних елементів даної деталі.

Дуже часто як конструкторську базу використовують геометричні елементи деталі: осьові лінії, бісектриси кутів, осі симетрії, ділильне коло зубчастого вінця тощо що зручно для оформлення креслень і розмірних розрахунків конструкцій.

Конструкторська база може бути основною та допоміжною.

Основна база – це конструкторська база, що належить даній деталі або складальній одиниці і використовується для визначення її положення у виробі.

Допоміжна база – конструкторська база, що належить даній деталі або складальній одиниці і використовується для визначення положення приєднуваних до них виробів (рис. 4.12, 4.13) [5].

Технологічна база – це база, що використовується для визначення положення заготовки або виробу в процесі виготовлення або ремонту.

Технологічна база (ТБ) при складанні – це поверхня, лінія або точка деталі чи складальної одиниці, відносно яких орієнтуються інші деталі або складальні одиниці виробу.

Технологічна база при обробці – це поверхня, лінія або точка заготовки, відносно яких орієнтуються її поверхні, що обробляються на даному установленні.

Як технологічні бази використовуються також лінії розмітки і точки, нанесені на матеріальні поверхні заготовок для вивірення останніх відносно пристосувань верстата, що визначають траєкторію руху різальних інструментів.

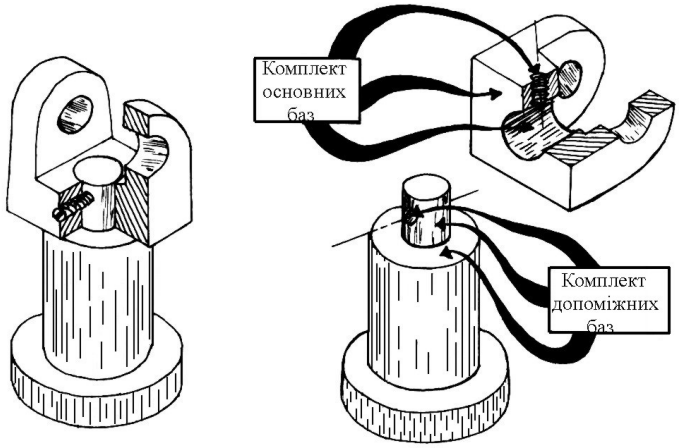


Рис. 4.12. Конструкторські бази

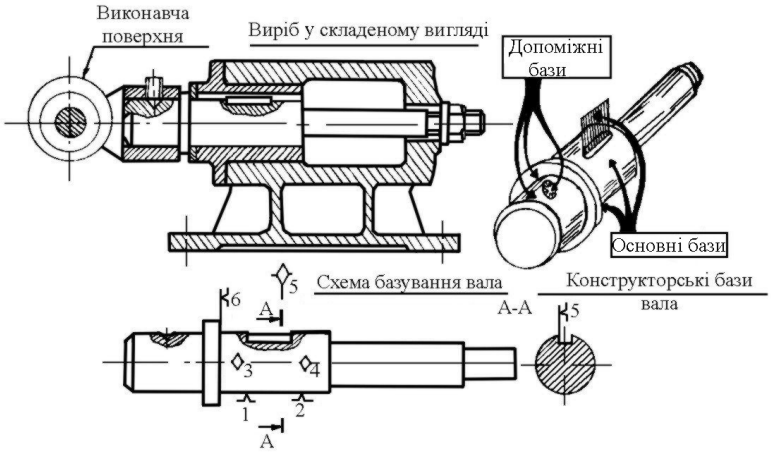


Рис. 4.13. Конструкторські бази

Приклади технологічних баз показані на рис. 4.14 [5].

За особливостями застосування технологічні бази, що використовуються при механічній обробці, поділяються на контактні, настроювальні та перевіркові.

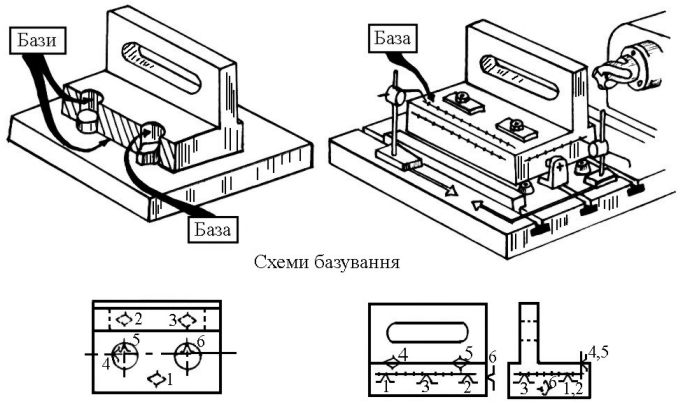


Рис. 4.14. Технологічні бази

Контактними базами називають технологічні бази, які безпосередньо стикаються з відповідними установчими елементами пристроїв чи верстатів.

Від цих баз можна витримати розмір безпосередньо при роботі на налагоджених верстатах з точністю даного методу обробки (див. приклади рис. 4.9–4.11).

Контактні технологічні бази широко використовуються при роботі на налагоджених верстатах у великосерійному виробництві.

Настроювальні бази – це поверхні заготовки, по відношенню до яких орієнтуються оброблені поверхні, і які зв'язані з ними безпосередніми розмірами і створюються при одному встановленні з поверхнями заготовки, що розглядаються.

Настроювальна база звичайно зв'язана безпосереднім розміром з опорною базою заготовки, яка є технологічною базою для отримання лінійних розмірів тільки при обробці самої настроювальної бази, з якою вона зв'язана безпосереднім розміром (див. приклад рис. 4.15) [5].

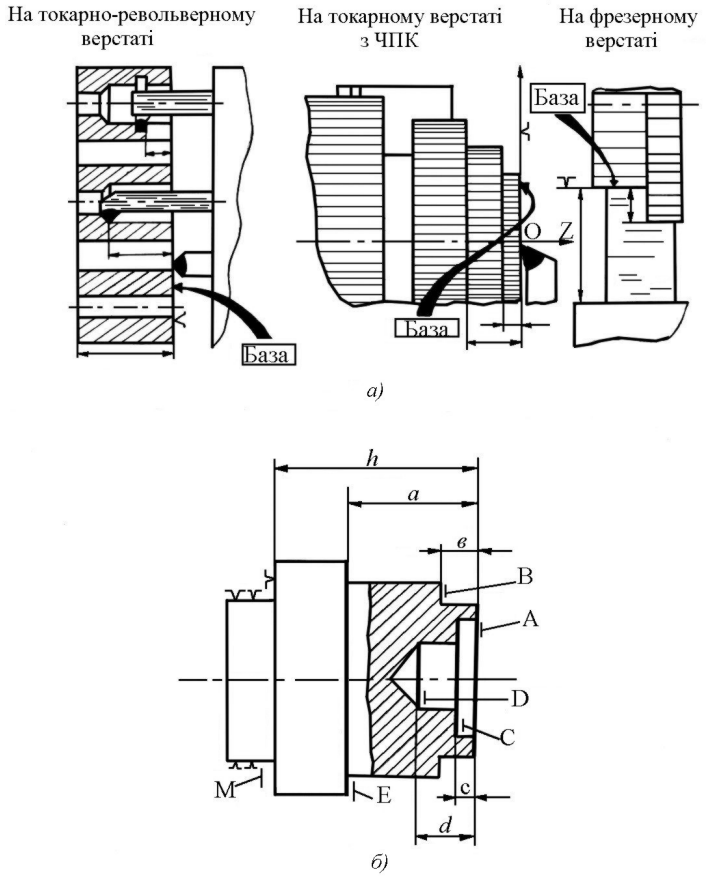


Рис. 4.15. Настроювальні бази (а), використання настроювальної бази А при обробці заготовки на револьверному верстаті (б)

Настроювальна база є технологічною для обробки всіх решти поверхонь.

В залежності від конфігурації та висунутих до неї вимог заготовка може мати декілька настроювальних баз одного напрямку розмірів, що деякою мірою утруднює настроювання верстата, проте створює можливість безпосереднього проставлення розмірів між поверхнями, взаємне розташування яких важливе для готового виробу.

Часто різальний інструмент переміщується від однієї обробленої поверхні заготовки до другої на визначену кресленням відстань за допомогою спеціальних шаблонів, відлікових пристосувань верстата або згідно заданої програми. Очевидно, що в подібних випадках можна використовувати декілька

настроювальних баз різних напрямків.

Застосування настроювальних технологічних баз значно розширює можливості проставлення розмірів на кресленнях заготовок, оскільки дозволяє встановлювати розміри без підвищення їх точності не тільки безпосередньо від опорних поверхонь, але й від вимірювальних баз, які можна використати як настроювальні.

Настроювальні бази сприяють спрощенню конструкції пристроїв, концентрації операцій технологічного процесу та скороченню загальної кількості операцій, а також дають можливість проводити вимірювання заготовок безпосередньо на верстаті. Деяке ускладнення налагодження верстата, пов'язане з використанням настроювальної бази, компенсується у великосерійному виробництві вказаними перевагами застосування цих баз.

Особливо чітко виявляються переваги настроювальних баз при використанні автоматів, багаторізцевих верстатів, верстатів з копіювальними пристосуваннями, верстатів з ЧПК та ОЦ, які потребують створення складних концентрованих операцій, а також при багатопозиційній обробці. При використанні настроювальних баз скорочується кількість встановлень деталей, що веде до підвищення точності обробки.

Перевіркові технологічні бази – це поверхня, лінія або точка заготовки чи деталі, по відношенню до яких проводиться вивірення положення заготовки на верстаті або встановлення різального інструменту при обробці заготовки, а також вивірення положення інших деталей чи складальних одиниць при складанні виробу (див. приклад, рис. 4.16) [5].

З прикладу видно, що при роботі по технологічних перевіркових базах точність та якість опорних поверхонь заготовки (площина В) (рис. 4.16, *б*.) не суттєво впливають на точність обробки заготовки. Цей метод не потребує застосування складних пристроїв для орієнтування заготовки на верстаті, необхідних при обробці за методом опорних баз. Вказані переваги забезпечили широке поширення цього методу в дрібносерійному та індивідуальному виробництвах важкого машинобудування, де виготовлення складних пристроїв і додаткова точна обробка контактних баз нерентабельна, а збільшені витрати часу на вивірення заготовки на верстаті незначні у порівнянні з загальним часом обробки заготовки (але це вирішується все ж таки техніко-економічним розрахунком).

Як перевіркові бази часто використовують оброблювані поверхні (наприклад, при розточуванні отворів у виливках, обробці напрямних у станин верстатів тощо). При цьому припуски розподіляються рівномірно, полегшуються умови різання та зменшується час обробки. Часто використовуються всілякі штрихи та керни. Цей метод застосовується при обробці, коли необхідно витримати взаємне положення поверхонь з високою точністю (наприклад, центруюча різь в оправі мікрооб'єктива). Переваги перевіркових баз залишаються такими ж і при складанні виробів.

Практика показує, що перевіркова технологічна база, яка застосовується при складанні та механічній обробці, може бути матеріальною (уявною) або умовною (прихованою). В останньому випадку вона матеріалізується за допомогою ватерпасів, оптичних коліматорів та інших пристосувань.

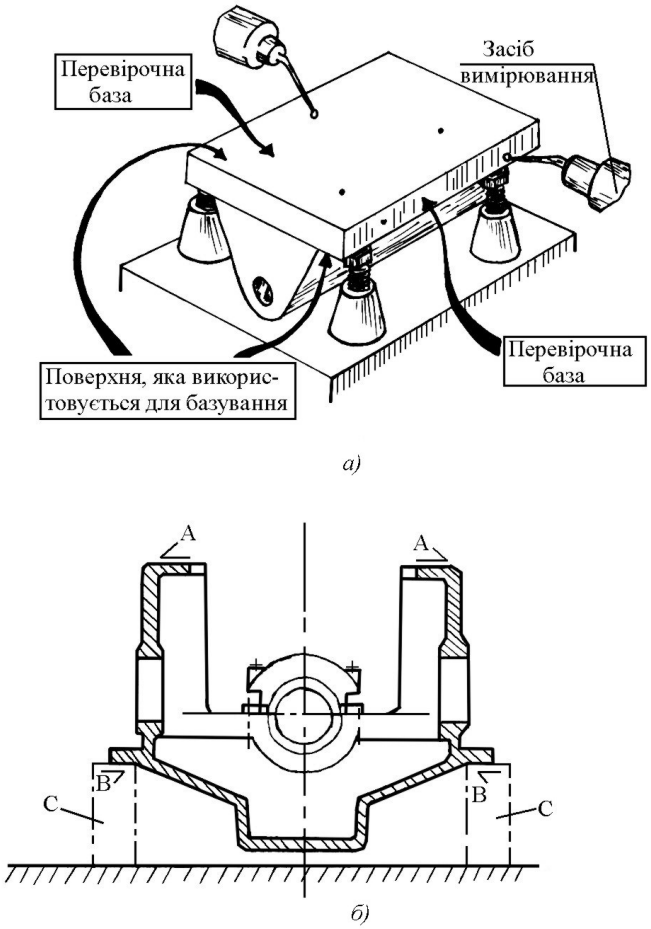


Рис. 4.16. Перевіркові бази (а) та використання перебіркової бази при розточуванні фундаментальної рами двигуна (б)

Вимірювальна база (ВБ) – це база деталі або складальної одиниці, від якої виконується відлік виконуваних розмірів при обробці або складанні виробу чи перевірка відносного розташування поверхонь деталі чи елементів виробу (рис. 4.17) [5].

Вимірювальна база на кресленні зв'язана з контрольними поверхнями деталі безпосередніми розмірами або певними умовами. Звичайно вимірювальна база збігається з конструкторською. Якщо ВБ представляє собою матеріальну поверхню, то вимірювання виконують звичайними прямими методами вимірювання, якщо ВБ – уявний елемент (бісектриса кута, осьова лінія, площина симетрії тощо), то вона матеріалізується за допомогою допоміжних деталей (штирів, пальців, валиків, натягнутих струн тощо), оптичних установок (коліматорів) та інших пристроїв.

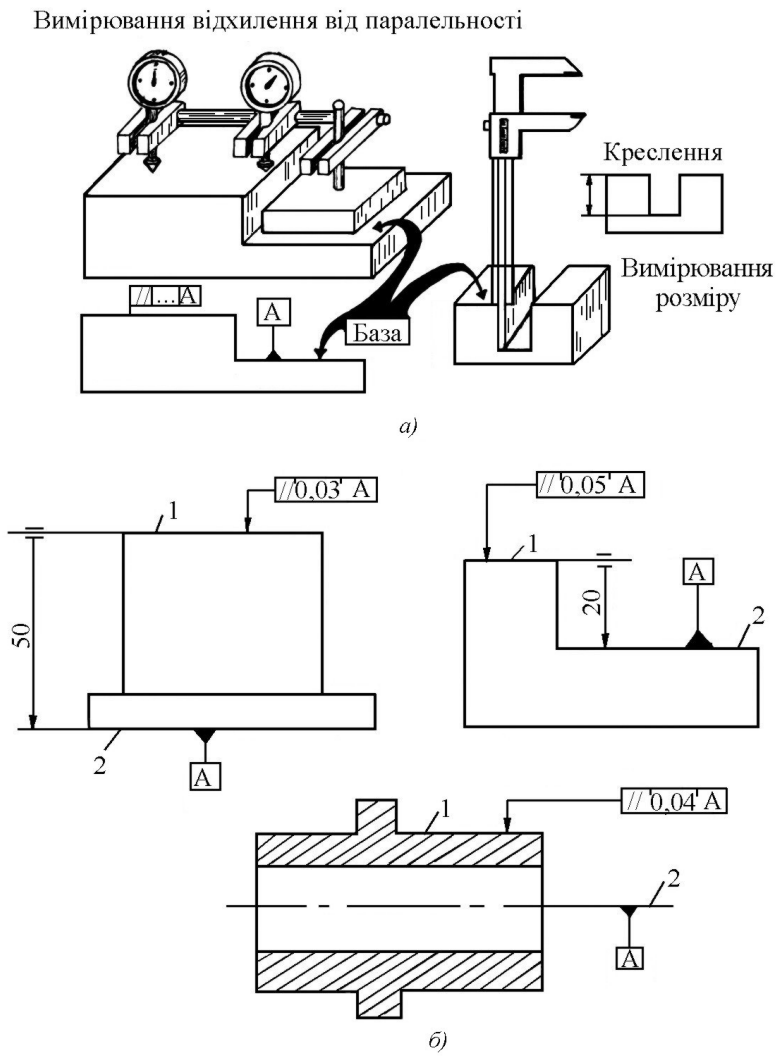


Рис. 4.17. Вимірювальні бази: 1 – досліджувана (вимірювальна поверхня); 2 – вимірювальна база

За позбавленими ступенями вільності база, як відмічалося раніше, може бути установчою, напрямною, опорною, подвійною напрямною, подвійною опорною. Кількість ступенів вільності, що їх може відібрати у деталі база, залежить від виду і розмірів її поверхні (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Кількість ступенів вільності, що відбирається у деталі в залежності від виду і розміру поверхні бази

Вид поверхні бази	Розміри бази	Кількість ступенів вільності, що відбираються
Площина	Велика Вузька Точкова	3 2 1
Циліндрична зовнішня (внутрішня)	Довга Коротка	4 2
Конічна зовнішня (внутрішня)	Довга Коротка	5 або 4 3 або 2

За характером прояву бази поділяють на явні та приховані (див. 4.18–4.20) [5].

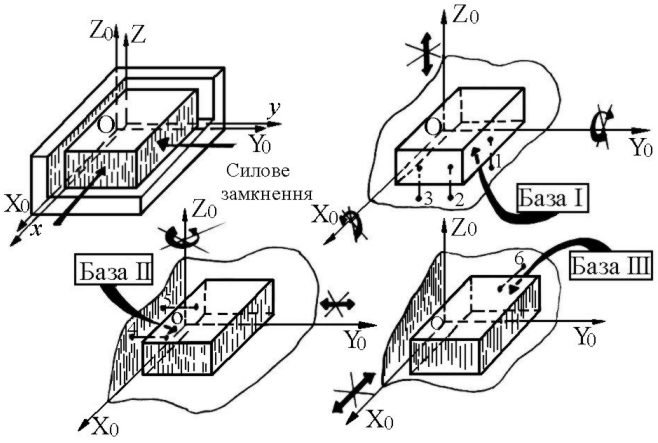


Рис. 4.18. Установча напрямна та опорна явні бази

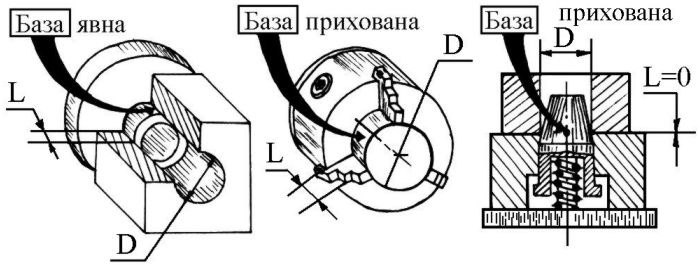


Рис. 4.19. Подвійна опорна база (явна і прихована)

Явна база – це база заготовки чи виробу у вигляді реальної поверхні, розмічального штриха або точки перетину штрихів.

Прихована база – це база заготовки або виробу у вигляді уявної площини, осі або точки (площина симетрії, вісь, точки).

Базування по площинах симетрії, лініях або точках їх перетину реалізується за допомогою центруючих пристроїв (рис. 4.20).

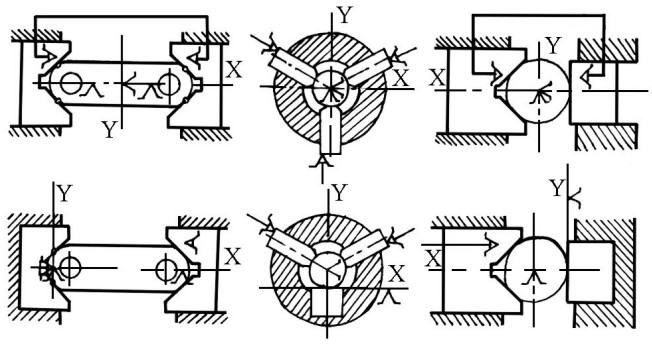


Рис. 4.20. Установчо-затискні центруючи пристосування Явні та приховані бази

При використанні для встановлення і закріплення деталей самоцентруючих пристроїв прихованою базою є вісь чи площина симетрії деталі, відносно якої переміщаються з однаковою швидкістю центруючі елементи пристрою. При встановленні в центрах прихована база – це вісь центрових отворів заготовки, яка повинна збігатись з лінією центрів верстата чи пристрою.

Для надання положення тілу з використанням його площин симетрії або осей поверхонь зв'язки повинні бути накладені безпосередньо на площини симетрії, осі, лінії або точки їх перетину.

Використання прихованих баз розглянемо та такому прикладі [5].

Кришка 1 (рис. 4.21, *а*) має можливість в процесі монтажу переміщатись за рахунок зазорів між поверхнями отворів під кріпильні болти та їх стрижнями у напрямку осей X та Y і обертатись навколо осі Z. Тому у кришці 1 і корпусі 2, на який вона монтується, обробляється по одній поверхні замість трьох. Отже, для того щоб правильно встановити кришку відносно литого корпусу, на який вона монтується, необхідно використати приховані бази у вигляді двох уявно проведених по осях симетрії координатних площин XOZ та YOZ. Ці дві координатні площини доводять загальну кількість баз корпусу 2 до трьох. Те ж саме треба зробити і з кришкою 1. Отримавши тим самим координатні системи кришки і фланця корпусу, можна правильно встановити кришку при монтажу шляхом суміщення баз кришки з базами фланця корпусу. Ці ж бази (приховані) необхідно використовувати також і при свердлінні отворів в кришці та фланці корпусу.

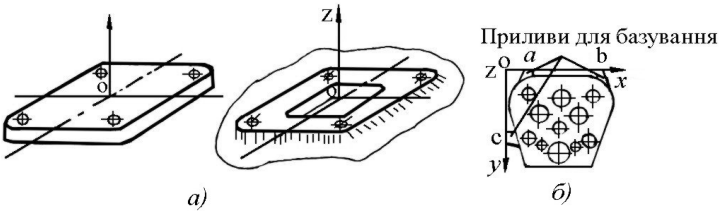


Рис. 4.21. Використання (а) та матеріалізація (б) прихованих баз

Прикладом матеріалізації баз може бути кришка (рис. 4.21, *б*), у якій дві координатні приховані бази матеріалізовані: XO – за допомогою двох точок, розташованих на двох приливах a і b; YO – за допомогою точки, розташованої на приливі c.

Матеріалізація прихованих баз призводить до появи явних баз, необхідних для точного визначення положення деталі та скорочення часу, який на це витрачається.

Найменування баз можуть бути повними і скороченими. Повне найменування баз повинне складатися із термінів виду баз, що відповідають окремим класифікаційним ознакам і розташовані у такому порядку: за призначенням, позбавленими ступенями вільності, характером прояву, наприклад, основна установча явна база, технологічна напрямна прихована база, вимірювальна опорна явна база.

Коротке найменування баз складається з частки термінів виду баз, наприклад, основна база, технологічна напрямна база, вимірювальна явна база.

4.6. Базуюча роль напрямних затискачів [6]

Раніше було вказано, що затискачі при закріпленні заготовки створюють з нею фрикційні зв’язки і, забезпечуючи нерухомість заготовки, не беруть участі в її базуванні і не змінюють числа ступенів вільності.

Це справедливо стосовно до звичайних “вільних” затискачів, тобто до затискачів типу прихватів, ексцентриків, гвинтів і под. Проте при використанні невільних затискачів, які здійснюють цілком певний і точно спрямований рух, а також при застосуванні самоцентруючих затискачів та пристосувань вони можуть накладувати на заготовку позиційні зв′язки, *тобто базувати заготовку, позбавляючи її відповідного числа ступеней свободи*, яке залежить від розмірів і форми притискної поверхні.

Коли заготовка 1 встановлюється на нерухому базуючу площину 2 (рис. 4.22, *а*.), то (у відповідності з рис. 4.5, 4.6) вона позбавляється трьох ступенів вільності (можливості переміщатись вздовж осі Z і обертатись навколо осей X та Y.

Якщо базуюча площина 2 не є нерухомою, а представляє собою торцеву поверхню повзуна притискача, який переміщується по напрямних паралельно осі Z (рис. 4.22, *б*), то зв’язок, що обмежував переміщення вздовж цієї осі, виявляється знятим, і заготовка при базуванні на торці рухомого повзуна позбавляється тільки двох ступенів вільності.

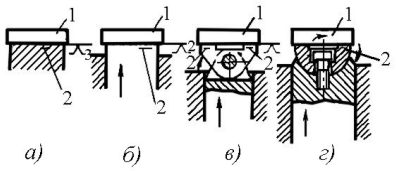


Рис. 4.22. Закріплення призматичної заготовки 1 направленими затискачами

Якщо базову площину 1 розмістити на поверхні проміжної деталі (гойдалці), вісь обертання якої укріплена на повзуні паралельно осі Y (рис. 4.22, *в*), то базова площина набуде ще одного ступеня вільності – можливості обертання навколо осі Y. В результаті (при такій конструкції затискача) заготовка, що базується, позбавляється при закріпленні тільки одного ступеня вільності (можливості обертання навколо осі X).

При заміні гойдалки сферичною опорою (рис. 4.22, *г*) затискач не накладає на заготовку ніяких додаткових зв'язків і функціонує як вільний затискач.

Загальне число зв'язків n, що накладаються на заготовку при закріпленні направленим затискачем (тобто число ступенів вільності, яких позбавляється заготовка, що базується), може бути визначене за формулою:

$$n = m - k, \qquad (4.1)$$

де m – число опорних точок робочої поверхні (поверхні контакту) затискача;

k– число ступенів вільності робочої поверхні затискача.

За допомогою напрямних затискачів може бути досягнуте центрування положення заготовок в пристроях.

При зустрічному русі двох напрямних точкових (сферичних) затискачів кожний з них окремо не накладає на заготовку додаткових позиційних зв'язків, проте у сукупності вони створюють один двосторонній зв'язок і позбавляють заготовку одного ступеня вільності у напрямку свого переміщення X. При однаковій швидкості зустрічного руху затискачів і однаковій формі затискних поверхонь точка прикладання цього зв'язку розташується на перетині траєкторії руху затискачів по осі X з площиною симетрії Y (рис. 4.23, *а*), яка може вважатися у цьому випадку умовною (прихованою) базою і на якій проставляється символічне позначення зв'язку, що накладається.

При цьому здійснюється *одноступеневе центрування заготовки,* при якому одна її площина симетрії Y суміщається з площиною симетрії, утвореною установчими елементами пристрою.

Якщо швидкість переміщення затискача 1 виявиться більшою, ніж швидкість переміщення затискача 2 (рис. 4.23, *б*), або якщо при рівній швидкості затискачів 1 і 2 один з них виконаний у формі призми, положення умовної бази зміщується із положення площини симетрії по довжині заготовки (рис. 4.23 *б*, *в*).

При *двоступеневому центруванні*, коли дві взаємно перпендикулярні площини симетрії заготовки суміщаються з двома взаємно перпендикулярними площинами симетрії, утвореними установчими елементами пристрою, дві затискні призми рухаються з однаковою швидкістю назустріч одна одній (рис. 4.24, *а*). При цьому кожна з призм (у відповідності з формулою (4.1)) позбавляє заготовку одного ступеня вільності у напрямку, перпендикулярному до осі X

(умовна база), і обидві вони у сукупності позбавляють заготовку одного ступеня вільності у напрямку осі X з накладанням зв'язків на умовну базу – площину симетрії Y. Таким чином, самоцентруючі затискачі позбавляють заготовку трьох ступенів вільності.

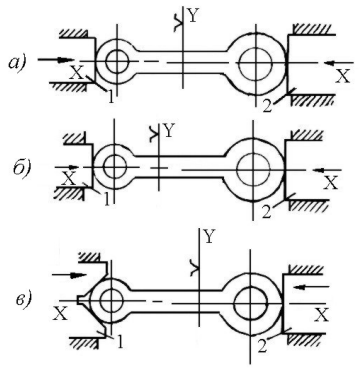


Рис. 4.23. Закріплення заготовки при зустрічному русі двох направлених точкових затискачів

Якщо одна з призм центруючого затискача є нерухомою (рис. 4.24, *б*), то загальне число опорних точок, розміщених на умовних базах заготовки, зберігається рівним трьом, проте положення умовної бази по осі Y переміщується із положення площини симетрії (рис. 4.24, *а*) в положення площини, в якій лежать точки а і б фактичного контакту нерухомої призми із заготовкою.

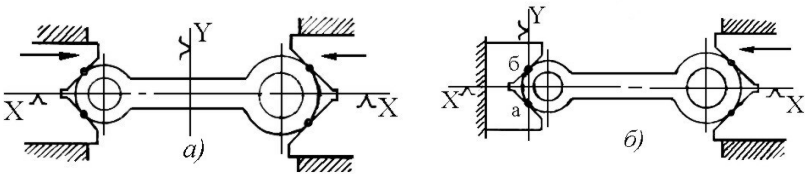


Рис. 4.24. Двоступеневе центрування заготовки при використанні призм

Двоступеневе центрування заготовок типу диска може бути з успіхом здійснене при зустрічному русі призми і плоского затискача (рис. 4.25, *а*), коли швидкість руху призми $\nu_{пр}$ більше швидкості плоского затискача $\nu_{пл}$:

$$\nu_{пр} = \frac{\nu_{пл}}{\sin\frac{\alpha}{2}}.$$

При заміні призми двома повзунами створюється схема звичайного трикулачкового патрона (рис. 4.25, *б*). Кожний з повзунів представляє собою направлений затискач, який стикається із заготовкою в одній точці, і у

відповідності із формулою (4.1) сам по собі не позбавляє заготовку ні одного ступеня вільності, але сукупність трьох кулачків, які переміщуються з однаковою швидкістю до центра, позбавляє заготовку двох ступенів вільності (можливості руху вздовж осей X і Y). Умовною базою заготовки в обох випадках (рис. 4.25) є центральна точка заготовки.

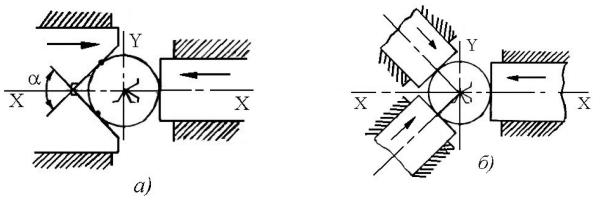


Рис. 4.25. Двоступеневе центрування заготовки при заміні призми двома повзунами

У всіх розглянутих випадках базування направленими затискачами (рис. 4.22–4.25) фактична орієнтація (базування) заготовок здійснюється по матеріальних поверхнях заготовок і затискачів, забезпечуючи потрібне при даних операціях розташування в пристроях осьових ліній, площини симетрії та інших умовних (прихованих) баз.

Тому, точно кажучи, в цих випадках приховані бази не є базами у вірному розумінні цього слова, оскільки вони нічого не базують, а тільки допомагають створенню конструкції пристроїв, потрібної для розв'язання даних технологічних задач.

4.7. Визначеність та невизначеність базування

Під визначеністю базування розуміють незмінність положення деталі у вибраній системі координат під час роботи в машині, у процесі виготовлення або вимірювання. Визначеність базування забезпечується прикладанням до деталі сил, що створюють силове замикання. Сили і моменти, які створюють силове замикання і забезпечують неперервність контакту, повинні бути більшими за сили і їх моменти, що спрямовані на порушення цього контакту в процесі роботи деталі в машині або в процесі її обробки. Без дотримання цієї умови неможливе виконання деталлю службового призначення і виключене досягнення потрібної точності деталі в процесі її обробки.

Сили, які створюють і зберігають контакт між сполучуваними поверхнями з'єднуваних деталей, завжди повинні бути прикладені раніше сил, які прагнуть порушити контакт.

Таким чином, визначеність базування характеризується безперервним збереженням контакту. Якщо контакт порушується, виникає невизначеність базування.

Під невизначеністю базування деталі розуміється поодинока або багаторазова зміна потрібного положення деталі відносно вибраної системи координат.

Невизначеність базування завжди породжує додаткову похибку відносного положення або руху деталі. З цим доводиться рахуватись у випадку рухомих

з'єднань деталей, коли деталі для виконання її службового призначення в машині залишається один або декілька ступенів вільності.

Наприклад, повзун кувальної машини для виконання свого службового призначення повинен мати можливість рухатись вздовж осі OX, а для цього мати один ступінь вільності (рис. 4.26). Крім цього, повинен бути зазор між повзуном і напрямною. Наявність зазору дає можливість повзун займати під дією робочих сил і моментів цілий ряд невизначених положень.

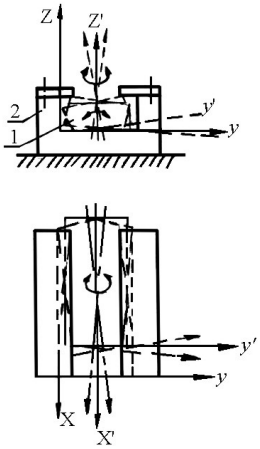


Рис. 4.26. Невизначеність базування повзуна: 1 – повзун; 2 – напрямна

Невизначеність базування заготовки при обробці впливає на точність розташування оброблених поверхонь відносно технологічних баз (рис. 4.27).

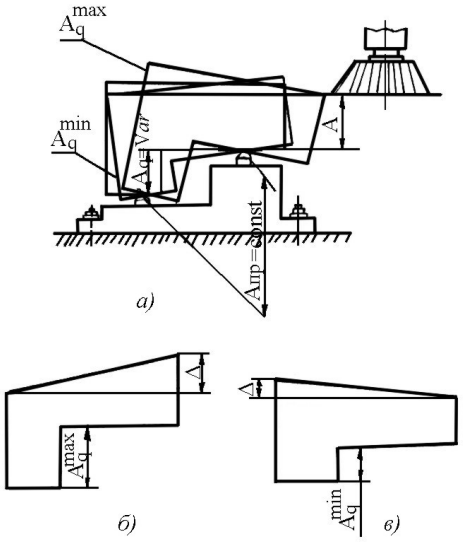


Рис. 4.27. Невизначеність базування заготовки при обробці та її вплив на точність обробки

Для забезпечення визначеності базування необхідно ретельно відпрацьовувати допуски з'єднань при конструюванні, а при виготовленні правильно базувати і закріпляти заготовку (рис. 4.28).

На виробництві з метою спрощення встановлення заготовки в ряді випадків виконують базування з надмірними (надлишковими) зв'язками. Так, при протягуванні торців хрестовини і наступному зацентруванні проводять базування по чотирьох циліндричних поверхнях (рис. 4.29, *а*).

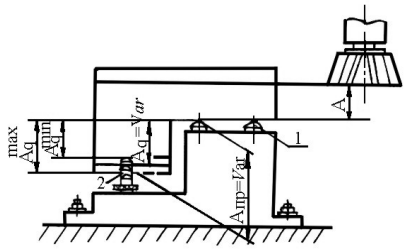


Рис. 4.28. Забезпечення визначеності базування за рахунок використання регульованої опори у пристосуванні: 1 – нерухомі опори; 2 – регульована опора

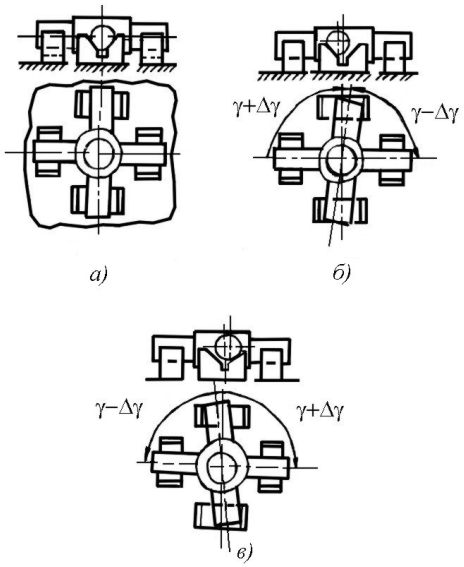


Рис. 4.29. Схема встановлення хрестовини на чотири призми (а) і невизначеність базування при цьому (б, в)

Як відомо, коротка циліндрична поверхня позбавляє двох ступенів вільності, а оскільки таких поверхонь чотири, на заготовку накладається всього вісім зв'язків, тобто два надмірні. Це призводить до невизначеності базування заготовки та її деформації під дією сил закріплення (рис. 4.29 *б*, *в*).

4.8. Зміна баз

Під зміною баз розуміють заміну одних поверхонь деталей, заготовок або складальних одиниць машини, які використовуються як бази, іншими.

Розрізняють організовану і неорганізовану заміну баз. Під організованою заміною баз розуміють заміну, якою керують.

Неорганізована заміна баз відбувається випадково, або без керування цим явищем (наприклад, при закріпленні заготовки у звичайних затискних лещатах) (див. рис. 4.30).

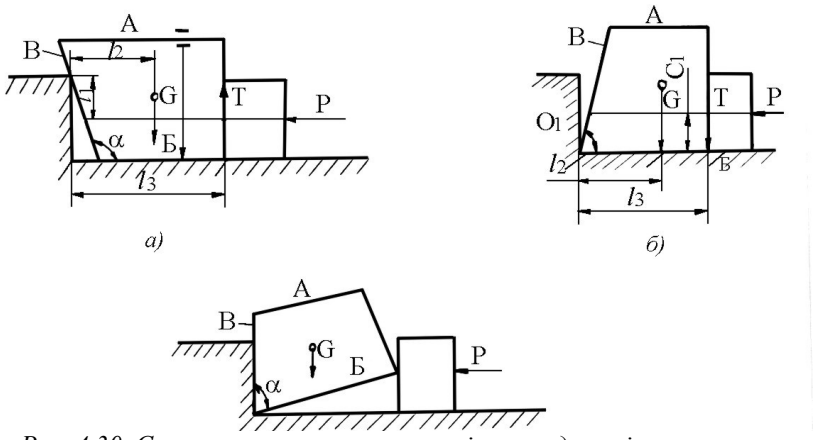


Рис. 4.30. Схема встановлення та закріплення деталі в лещатах

Причинами заміни є:

- похибки геометричної форми заготовки (рис. 4.30, 4.31, *а*);
- неправильне розташування і похибки установчих елементів (рис. 4.31, *б*);
- неправильне прикладання і послідовність прикладання затискних сил (рис. 4.31, *в*);
- недостатня кваліфікація робітника (рис. 4.31, *г*).

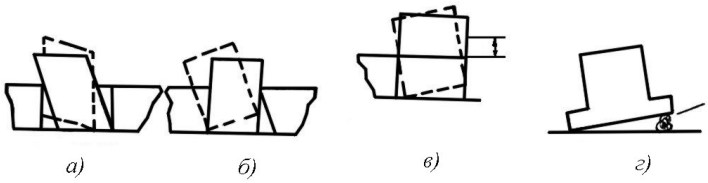


Рис. 4.31. Неорганізована зміна баз з різних причин: а – похибки геометричної форми заготовки; б – неправильне розташування і похибки установочних елементів; в – неправильне прикладання і послідовність прикладання затискних сил; г – недостатня кваліфікація працюючого

Необхідність в організованій зміні однієї або декількох баз виникає в таких випадках:

- неможливість обробки всіх поверхонь деталі з одного встановлення;
- неможливість використання вимірювальної бази як технологічної, або коли

для цього потрібні складні, незручні пристосування;

- коли виникає можливість досягти потрібну точність більш простим, зручним і економічним шляхом.

Однак, необхідно пам'ятати, що будь-який перехід з одних баз на інші збільшує накопичення похибок відносного розташування поверхонь, тому кожна заміна бази завжди зв'язана зі заміною однієї ланки розмірного ланцюга двома новими, тобто збільшенням кількості ланок.

За необхідності одні технологічні бази можуть бути організовано заміненими іншими з обов'язковим виконанням наступних дій:

1. Встановлення розмірних зв'язків між поверхнями попередньої та нової баз.
2. Встановлення розмірних зв'язків між оброблюваною поверхнею та новою вибраною технологічною базою.
3. Виявлення технологічних розмірних ланцюгів в тих координатних площинах, в яких відбувається зміна баз.
4. Виконання необхідних розрахунків виявлених технологічних розмірних ланцюгів.

Приклад

При фрезеруванні поверхні 1 корпусу (рис. 4.32, *а*) однією з технологічних баз прийнята поверхня 2 – вимірювальна база для поверхні 1 (від неї заданий на кресленні розмір А). При обробці отвору (рис. 4.32, *б*) вирішено змінити одну з баз і замість поверхні 2 прийняти поверхню 1.

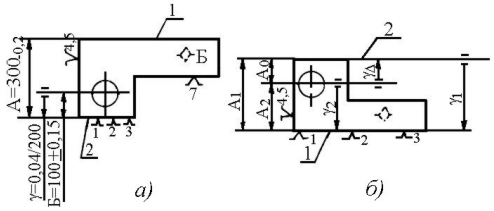


Рис. 4.32. До зміни баз

Розв'язання

Розмірні зв'язки між поверхнею 1 і поверхнею 2 – A_1, γ_1. Зв'язки між оброблюваним отвором і новою базою – поверхнею 1 – A_2, γ_2.

Замикальними ланками технологічного розмірного ланцюга А і γ будуть розмір Б і поворот γ (рис. 4.32).

Визначимо технологічні розміри A_2 і γ_2:

$$A_2 = A_1 - A_\Delta = 300 - 100 = 200 \text{ мм};$$

$$T_{A_2} = T_{A_\Delta} - T_{A_1} = 0{,}3 - 0{,}2 = 0{,}1 \text{ мм} > \Delta_м = 0{,}08 \text{ мм}.$$

Тоді $A_2 = 200 \pm 0{,}05$ мм.

$$T_{\gamma_\Delta} = T_{\gamma_1} + T_{\gamma_2};\ T_{\gamma_2} = T_{\gamma_\Delta} - T_{\gamma_1};$$

$T_{\gamma_\Delta} = T_\gamma$; $T_{\gamma_1} = \Delta_м$ за паралельністю при фрезеруванні площини 1.

$\Delta_м = 0{,}2$ мм/300 мм

Тоді T_{γ_2} = 0,4–0,2 = 0,2 мм/300 мм/мм; $\Delta_{розточ.}$ = 0,1/300 мм/мм.

Таким чином, щоб створити можливість переходу на нову технологічну базу без шкоди для забезпечення потрібного положення отвору відносно поверхні 1, необхідно так побудувати технологічний процес, щоб відхилення на ланках A_1, A_2, γ_1, γ_2 не виходили за межі розрахованих, що буде у випадку, коли допуски розмірів Б і γ (рис. 4.32, *а*) досить широкі.

4.9. Побудова теоретичної схеми базування

Перш, ніж вибрати і реалізувати ту чи іншу схему базування, необхідно чітко сформулювати задачу, яка повинна бути розв'язана на операції, що розглядається, тобто задача повинна виступати в ролі причини, а схема – в ролі наслідку. На практиці часто на одній і тій же операції розв'язується декілька задач: забезпечення декількох розмірів, відстаней, поворотів. Чим більше розв'язується задач, тим складніша схема базування.

Розробка схем базування – одна із основних задач забезпечення технологом потрібної якості виробів. Тому оволодіння практикою побудови схем базування є одним із важливіших моментів у становленні технолога як фахівця. Таке вміння дається не відразу. Тут потребуються певні навички. Тому в цьому параграфі ми розглянемо деякі практичні рекомендації і декілька типових схем базування.

Теоретична схема базування розробляється, як правило, виходячи з того, що технологічною базою за кожною з координат повинна бути вимірювальна база.

Приклад 1

При обробці вибірки у деталі, зображеній на рис. 4.33, *а,* базами повинні бути: по координаті X – поверхня 1, по координаті Y – поверхня 2, по координаті Z – поверхня 3, оскільки з ними оброблювані поверхні зв'язані безпосередніми розмірами. Кількість ступенів вільності, що відбираються, диктується службовим призначенням деталі, яке виражається точністю розмірів і умов за взаємним розташуванням.

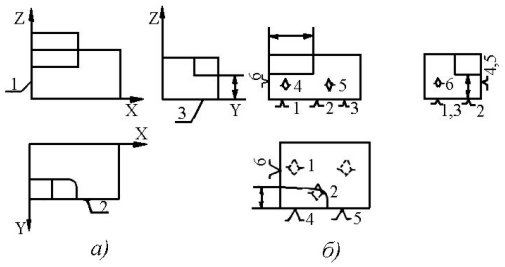


Рис. 4.33. Координація поверхонь уступу (а)і теоретична схема базування заготовки при обробці (б)

Чим точнішими умовами зв'язана поверхня з вимірювальною базою, тим більшу кількість ступенів вільності остання повинна відібрати у заготовки чи деталі при базуванні.

Для забезпечення паралельності оброблюваної поверхні та технологічної бази остання повинна відбирати як мінімум два ступеня вільності, тобто бути напрямною базою, щоб забезпечити перпендикулярність – три ступеня вільності (установча база).

Якщо за всіма координатами точність розмірів (умов) однакова, вид бази диктується її габаритними розмірами, зручністю практичної реалізації теоретичної схеми тощо.

Виходячи з наведеного, у розглянутому прикладі прийнято за установчу базу поверхню 3, за напрямну базу – поверхню 2, за опорну базу – поверхню 1 (рис. 4.33, *б*).

Приклад 2

Розробити теоретичну схему базування бруса при обробці отвору ØD (рис. 4.34, *а*).

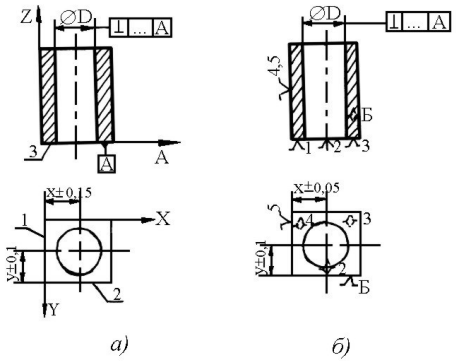


Рис. 4.34. Координація отвору (а) і теоретична схема базування заготовки при його обробці (б)

Виходячи з розмірних зв'язків деталі, вимірювальними базами по координатах x, y, z є відповідно поверхні 1, 2, 3. Оскільки отвір ØD повинен бути перпендикулярним до поверхні 3, вона повинна бути установчою базою. У зв'язку з тим, що точність відстані отвору від поверхні 1 точніша, ніж від поверхні 2, поверхня 1 повинна бути напрямною, а поверхня 2 – опорною базою (рис. 4.34, *б*).

Значно складніше розробляти теоретичну схему базування, коли вимоги до розташування розглядуваної поверхні задані неявно (в прихованому вигляді), або частина чи всі вимірювальні бази є неявними. Як правило, конструктор задає розмірні зв'язки в симетричних деталях, як це показано на рис. 4.35. Тим самим передбачається, що вісь отвору повинна збігатися з лінією перетину площин симетрії I–I і II–II зовнішнього контуру, тобто розміри Б і В дорівнюють нулю. А звідси до виявлення вимірювальної бази один крок: нею є лінія 0–0. Виходячи із службового призначення деталі оброблюваний отвір повинен розташовуватись паралельно граням деталі, а тому, враховуючи відносні розміри поверхонь деталі, лінія 0–0 повинна бути подвійною напрямною базою (рис. 4.35, *в*). Оскільки вимог до розташування отвору відносно торців не висувається, будь-який з них може бути прийнятий за опорну базу. Другою опорною базою є площина симетрії OX

зовнішнього контуру (рис. 4.35, *в*), хоча може бути і площина OY.

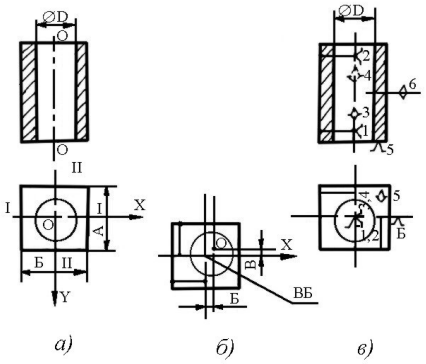


Рис. 4.35. До розробки теоретичної схеми базування з використанням умовних баз

Якщо за службовим призначенням отвір ØD повинен більш точно розташовуватись відносно торцевої поверхні (бути перпендикулярним до неї), остання має бути установчою базою, а лінія 0–0 – подвійною опорною базою.

4.10. Приклади побудови та реалізації теоретичних схем базування

На рис. 4.36–4.45 наведені приклади формулювання задач, побудови теоретичних схем та практичної їх реалізації для різних схем обробки деталей.

Задача	Теоритична схема базування	Приклад можливої реалізації теоретичної схеми базування
При фрезеруванні паза шириною h витримати розміри а і в, паралельність осі паза відносно поверхні Б, а для паза – відносно основи А.		

Рис. 4.36. Базування призматичної деталі при фрезеруванні поздовжнього паза

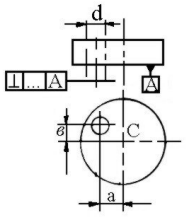
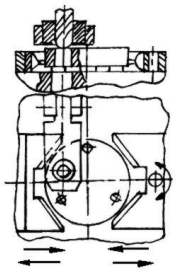
Задача	Теоретична схема базування	Приклад можливої реалізації таоретичної схеми базування
При обробці отвору d в дискувитримати розміри а і в і забезпечити перпендикулярність осі отвору d відносно поверхні А			

Рис. 4.37. Базування диска при свердлінні ексцентричного отвору

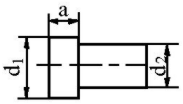
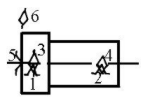
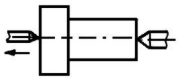
Задача	Теоретична схема базування	Приклад можливої реалізації теоретичної схеми базування
При обробці поверхонь діаметром d_1 і d_2 забезпечити їх співвісність і витримати розмір а			

Рис. 4.38. Базування валика

Задача	Теоретична схема базування	Приклад можливої реалізації теоретичої схеми базування
При обробці поверхонь діаметром d_1 і d_2 забезпечить їх співвісність з отвором d і додержання розміру a		Встановлення заготовки на циліндричній оправці з беззазорною (пресовою)посадкою

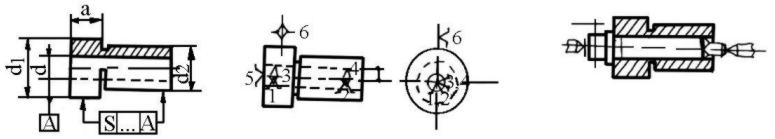


Рис. 4.39. Базування циліндричної деталі на оправці

Задача	Теоретична схема базування	Приклад можливої реалізації теоретичної схеми базування
При обробці отвору в кульці витримати розмір Q і забезпечити проходження осі отвору через точку О – центр кульки		

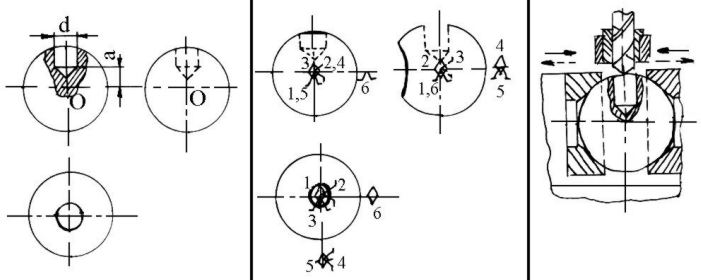


Рис. 4.40. Базування кульки при свердлінні у ньому центрального отвору

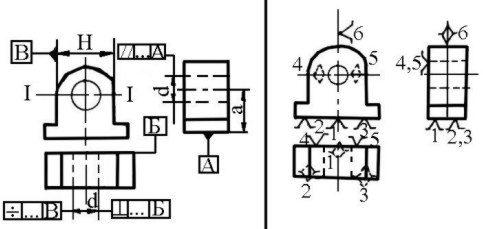
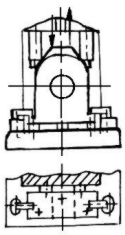
Задача	Теоретична схема базування	Приклади можливої реалізації теоретичної схеми базування
При розточуванні отвору d витримати розмір a, паралельність осі отвору до площини А, перпендикулярність осі отвору до площини Б в перерізі I–I, симетричність отвору відносно зовнішнього контуру		

Рис. 4.41. Базування корпусу підшипника ковзання при розточуванні отвору

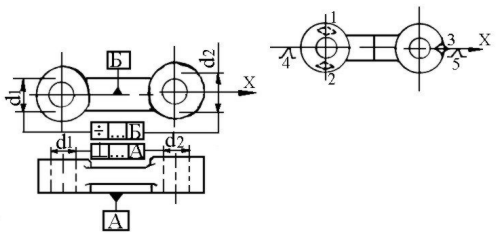
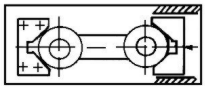
Задача	Теоретична схема базування	Приклад можливої реалізації теоретичної схеми базування
Обробити із застосуванням кондуктора отворів d_1 і d_2 у втулках важеля, забезпечивши виконання таких вимог: а) перпендикулярність осей отворів до площини А і симетричність отворів відносно загальної площини симетрії втулок важеля 5		

Рис. 4.42. Базування важеля (варіант 1)

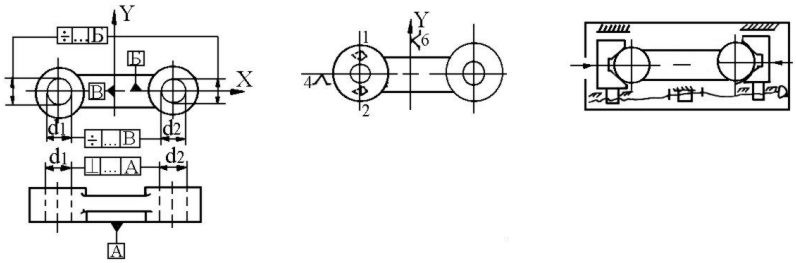
Задача	Теоретична схема базування	Приклад можливої реалізації теоретичної схеми базування
б) перпендикулярність осей отворів до площини А та симетричність отворів відносно площини симетрії втулок X і Y		

Рис. 4.43. Базування важеля (варіант 2)

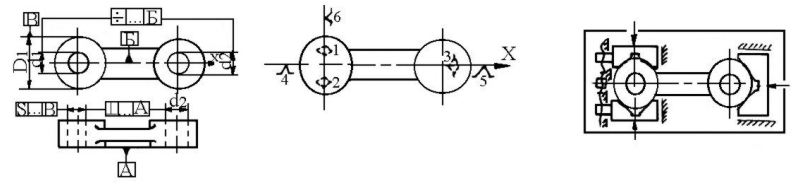
Задача	Теоретична схема базування	Приклад можливої реалізації теоретичної схеми базування
в) перпендикулярність осей отворів до площини А симетричність отворів відносно площини симетрії втулок X та співвісність отвору d_1 відносно зовнішньої поверхні втулки D_1		

Рис. 4.44. Базування важеля (варіант 3)

Задача	Теоретична схема базування	Приклад можливої реалізації теоретичної схеми базування
г) перпендикулярність осей отворів до площини А, симетричність отворів відносно площини симетрії втулок Х і постійність товщини S стінки лівої втулки		

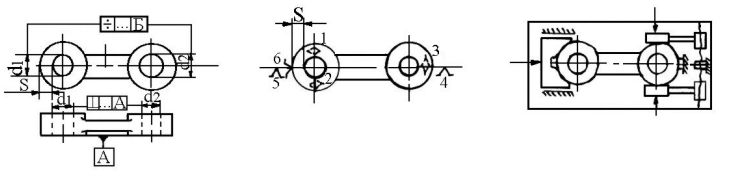


Рис. 4.45. Базування важеля (варіант 4)

4.11. Встановлення заготовок у пристроях

Процес встановлення заготовок у пристроях чи на верстаті полягає у їх базуванні (орієнтуванні) та закріпленні.

Раніше було вказано, що для точної обробки заготовки необхідно правильно її розташувати по відношенню до пристосувань верстата, які визначають траєкторію руху подачі оброблювального інструмента, забезпечити постійність контакту баз з опорними точками і повну нерухомість заготовки відносно пристрою в процесі її обробки. *Перша задача розв'язується технологом при побудові теоретичної схеми базування заготовки*, що визначає необхідне для розв'язання даної технологічної задачі число та розташування ідеальних зв'язків і опорних точок, а також визначає відповідні базові поверхні заготовки.

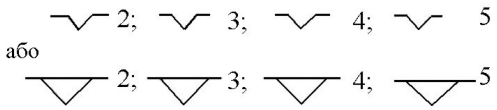
При проектуванні пристрою конструктор по оснащенню повинен передбачити створення та розташування опор для базування заготовки в точній відповідності зі схемою базування, створеною технологом.

При оформленні робочої технологічної документації (операційні карти) для спрощення та скорочення роботи технолога рекомендується замість теоретичних схем базування наносити на операційні ескізи умовні позначення опор, затискачів і установчих пристосувань, які матеріалізують в реальних пристроях ідеальні опорні точки.

Умовні позначення опор, затискачів та установчих пристосувань, що відповідають державному стандарту, наведені в [6, додаток 6].

В необхідних випадках в операційних ескізах для позначення базових поверхонь також допускається застосування позначення.

Для спрощення ескізу окреме зображення декількох однойменних опор чи опорних точок, розташованих на одній базуючій поверхні, для виду збоку може бути замінене одним символом із вказанням справа від нього кількості однойменних опор, необхідних для орієнтування даної поверхні у вигляді:



Позначення опор на виді зверху наносяться на ескізах окремо одне від одного у відповідності з прийнятим їх розміщенням.

Друга задача, тобто забезпечення контакту базових поверхонь заготовки з опорними точками пристрою та повної нерухомості заготовки відносно пристрою в процесі її обробки, *розв'язується при конструюванні пристрою створенням необхідних затискних пристосувань*. На відміну від базування заготовки, коли на неї накладається різне число зв'язків і вона позбавляється трьох, чотирьох, п'яти чи шести ступенів вільності, у всіх випадках закріплена заготовка повинна бути позбавлена всіх шести ступенів свободи. Закріплення (затискання) заготовки грунтується на використанні фрикційних зв'язків, що реалізуються в затискних пристосуваннях з різноманітними джерелами сили (механічними, гідравлічними, пневматичними, магнітними, вакуумними тощо). На рис. 4.46 показаний приклад відповідної формалізації конструкторського рішення встановлення і базування з використанням умовних позначень згідно з [6, додаток 6].

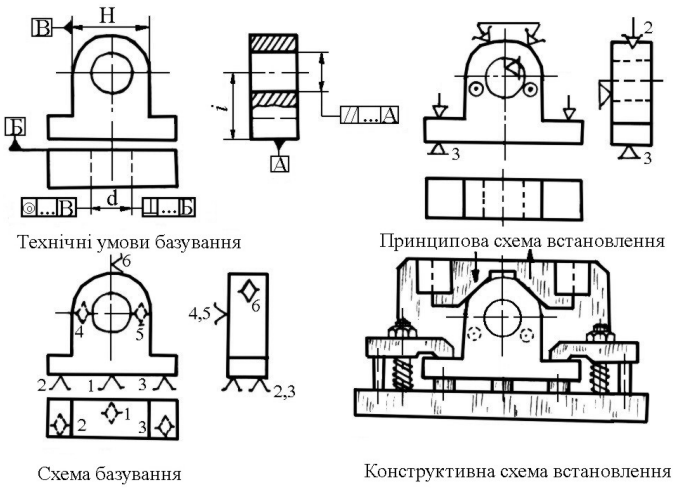


Рис. 4.46. Приклад формалізації конструкторського рішення встановлення і базування з використанням умовних позначень

4.12. Похибки встановлення заготовок

Оскільки процес встановлення заготовок в пристроях чи на верстаті полягає у їх базуванні та закріпленні, то очевидно, похибку встановлення заготовки можна визначити як суму похибки базування та похибки закріплення, тобто:

$$\overline{\varepsilon}_{у} = \overline{\varepsilon}_{б} + \overline{\varepsilon}_{з},$$

де $\varepsilon_б$, $\varepsilon_з$ – похибки базування і закріплення.

Похибка встановлення – це відхилення фактично досягнутого положення заготовки чи виробу при встановленні від потрібного.

Похибка базування – це відхилення фактичного досягнутого положення заготовки чи виробу при базуванні від потрібного.

Похибка закріплення – це відхилення досягнутого положення заготовки чи виробу при закріпленні від потрібного.

Очевидно, якщо послідовно встановлювати безліч тіл відносно систем координат кожного наступного тіла, то в результаті створюється ланцюг координатних розмірів, і похибка встановлення останнього тіла відносно вихідної системи координат визначає похибку замикальної розмірної ланки.

Отже, згідно з теоріями базування і розмірних ланцюгів, вказана похибка визначається наступною сумою:

$$\varepsilon_{у} = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{б_i} + \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{з_i},$$

де n – кількість ланок розмірного ланцюга.

Відомо, що потрібне положення елементів механічної системи відносно вибраних систем координат визначається накладанням геометричних зв’язків, виражених координатними розмірами, наприклад, для шара, рух якого обмежений двома площинами [5]:

$$z_c = r \quad \text{чи} \quad z_c - r = 0,$$

де z_c – координата центра шара;

r– радіус шара, що визначає значення координати центра шара, і тим самим його положення.

Виходячи з цього, значення похибки базування визначається відхиленням накладених розмірних зв’язків від потрібних – нормованих значень. Відповідно потрібні значення координуючих розмірів визначаються нормованими значеннями і допустимими їх відхиленнями (допусками), вказаними в конструкторській та технологічній документації.

Звідси випливає, що сумарно похибка встановлення відносно вибраної системи координат визначається характеристикою відповідного розмірного ланцюга встановлених елементів (заготовок чи виробів).

При цьому похибки закріплення та базування, які визначають похибку встановлення, виникають у зв’язку з такими фактичними причинами (див. рис. 4.47) [5].

1. Теорія базування відноситься до твердих тіл [4]. Реальні заготовки чи вироби не є абсолютно твердими тілами. Контактні та об’ємні деформації, які під дією сил і моментів сил закріплення змінюють положення тіл, що базуються, визначають відповідну похибку. Очевидно, що контактні деформації обернено пропорційні площі контакту опор, затискачів і установчих елементів. При даній силі закріплення зменшення площі контакту призводить до зростання тисків, і відповідно, до збільшення деформацій та похибки закріплення. Звичайно похибку закріплення розраховують за емпіричною залежністю деформації від сил із врахуванням діючих

сил, твердості та розмірів контактуючих тіл (опор, затискачів та установчих елементів).

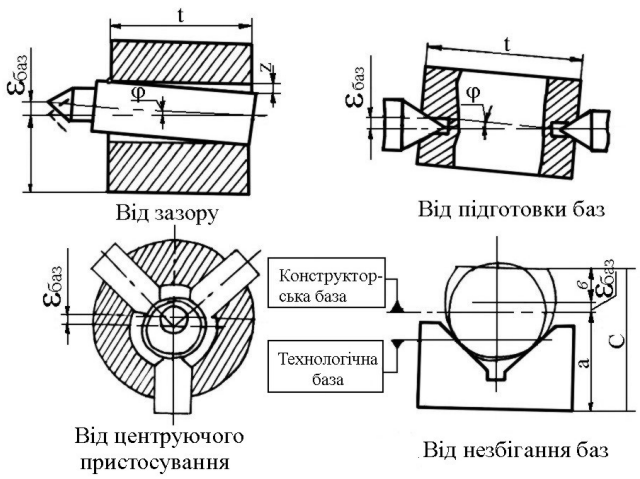


Рис. 4.47. Похибки базування

2. При базуванні потрібне положення баз, що утворюють системи координат, визначаються геометричними зв'язками (координатними розмірами), накладеними на точки, які належать ідеальним лініям чи поверхням, вказаним в конструкторській чи технологічній документації. Деталі машин, заготовки чи вироби обмежені реальними поверхнями і лініями, які мають певний рельєф і профіль, що не враховуються при ідеалізованому представленні тіл. Наявність у реальній базі точок, що не лежать на ідеальній лінії чи різновіддалених від ідеальної поверхні, призводить при базуванні та накладанні реального фізичного зв'язку до появи відповідної похибки базування. Якщо базування здійснюється не по опорних точках, а по поверхні, то похибка базування буде тим більшою, чим більше відхилення розмірів і форми конструктивних елементів, що виконують функції баз. Як наслідок, базування за допомогою точкових опор краще за поверхневе сполучення. З тієї ж причини похибка базування буде тим меншою, чим більше напрямні бази наближаються до прямої лінії, а опорні – до точок. Проте при цьому необхідно враховувати, що точність положення заготовок чи виробів при їх установленні залежить не тільки від похибки базування, але й від деформацій закріплення, вказаних вище, які обернено пропорційні площі контакту.

В технологічних системах при незбіганні технологічних і вимірювальних чи конструкторських баз, від яких задається потрібне положення, в ланцюг елементів технологічної системи включаються додаткові системи координат, створюючи розмірні ланцюги. Результуюча похибка визначається відповідною сумою відхилень розмірів, похибок форм і закріплень.

3. Наявність зазорів у з'єднаннях чи посадках при встановленні заготовок чи виробів визначає відхилення фактичного положення від потрібного і характеризує відповідну складову похибки базування (див. рис. 4.47). Для виключення впливу зазорів і похибки баз на точність встановлення використовують приховані бази

центрування заготовок і виробів по площинах, осях і точках симетрії. Похибка базування в цьому випадку зв'язана тільки з точністю центрування та відповідною характеристикою розмірного ланцюга, в яку входить розмір, що розглядається.

4. Відхилення кутового і лінійного положень поверхні та ліній, що виконують функції базових площин і осей, є причинами похибки базування. Вони визначають відповідну точність координатних систем базування. Накладання потрібних координатних розмірів на точки базових систем координат визначає відповідні геометричні зв'язки, положення баз і тим самим тіл, що базуються. Отже, чим менше відхилення від кутового положення площин і ліній, що виконують функції координатних площин і осей, тим менша похибка базування. Чим більша відстань між реальними опорами, тим також менша похибка базування (див. рис. 4.47).

В кожному конкретному випадку відповідна схема базування і встановлення визначає ті чи інші вказані причини і похибку.

4.13. Приклади розрахунку похибок базування

4.13.1. Похибки базування при встановленні заготовки на площину

Причини виникнення та приклад розрахунку похибки базування розглянемо за допомогою схеми, показаної на рис. 4.48.

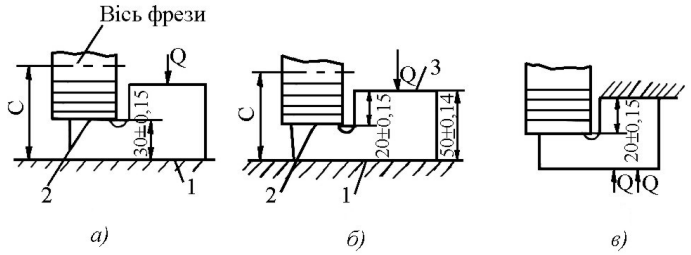


Рис. 4.48. Схеми для розрахунку похибки базування при встановленні заготовок на площину

Для розміру 30±0,15 мм (рис. 4.48, *а*) площина 1 є технологічною і конструкторською (вимірювальною) базами одночасно, похибка обробки за цим розміром буде визначатись тільки точністю методу обробки. Для розміру 20±0,15 мм (рис. 4.48, *б*) площина 1 є технологічною базою, а площина 3 – конструкторською (вимірювальною), і на точність цього розміру буде впливати не тільки точність методу обробки, а й допуск попередньо виконаного розміру 50±0,14 мм. Розглянемо, як це відбувається.

Налагоджувальний розмір С, а отже, і положення фрези при обробці поверхні 2 залишається незмінним (С = const), а вимірювальна база 3 при обробці партії заготовок коливається відносно леза фрези в межах допуску 0,28 мм на базисний розмір 50 мм, який отриманий на попередній операції. Допуск на базисний розмір і буде похибкою базування $\varepsilon_б$ = 0,28 мм.

З наведеного випливає, що при встановленні заготовки на площину, яка є конструкторською базою, похибка базування дорівнює нулю.

При встановленні заготовки на площину, яка не є конструкторською базою, похибка базування дорівнює допуску на розмір, що безпосередньо зв'язує технологічну і конструкторську бази. У загальному випадку, коли технологічна та вимірювальна бази не паралельні (кут між ними рівний α), вона визначається залежністю:

$$\varepsilon_б = T\cos\alpha.$$

Отже, для усунення похибки базування по розміру 20±0,15 мм його потрібно обробляти за схемою встановлення заготовки (рис. 4.48, *в*). Типові схеми встановлення заготовок на площину та відповідні похибки базування наведені в [3, табл. 13.1].

4.13.2. Похибка базування при встановленні заготовки по зовнішній циліндричній поверхні на призму

Технологічною базою при такому встановленні (рис. 4.49) є площина, яка проходить через твірні дотику циліндра з робочими поверхнями призми. Вимірювальні бази відповідно до заданих розмірів – твірна M, вісь O, твірна N (табл. 4.2). При коливанні діаметра в партії заготовок в межах допуску T_D від D до $(D - T_D)$ технологічна база займає положення відповідно F–F і F_1–F_1 (рис. 4.49). Таким чином, у всіх випадках має місце похибка базування внаслідок несуміщення баз.

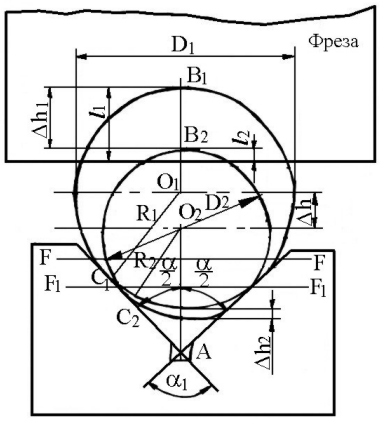


Рис. 4.49. Схема для визначення похибок базування валів при їх встановленні циліндричною поверхнею на призму

Величину похибки базування визначимо з рис. 4.49, на якому показане послідовне встановлення в призму оброблюваних валів із найбільшим D_1 та найменшим D_2 граничними розмірами. Визначимо відстань Δh_1 між верхніми точками граничних діаметрів валів, відстань Δh_2 між нижніми точками граничних діаметрів валів і відстань Δh між осями. Зазначені відстані є похибками базування відповідних розмірів валів при встановленні за схемою, зображеною в табл. 4.2.

За геометричною побудовою (рис. 4.49) похибки базування будуть рівними:

$$\Delta h_1 = \varepsilon_\delta h_1 = AB_1 - AB_2 = \left[\frac{D_1}{2} + \frac{D_1}{2\sin\alpha/2}\right] - \left[\frac{D_2}{2} + \frac{D_2}{2\sin\alpha/2}\right] = \frac{(D_1 - D_2)(1+\sin\alpha/2)}{2\sin\alpha/2} = \frac{\Delta D(1+\sin\alpha/2)}{2\sin\alpha/2} = \Delta DK_1 = TK_1. \quad (4.2)$$

Аналогічно визначимо:

$$\Delta h_2 = \varepsilon_\delta h_2 = \frac{\Delta D(1-\sin\alpha/2)}{2\sin\alpha/2} = \Delta DK_2 = TK_2; \quad (4.3)$$

$$\Delta h = \varepsilon_\delta h = \frac{\Delta D}{2\sin\alpha/2} = \Delta DK = TK, \quad (4.4)$$

де

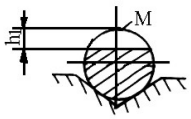
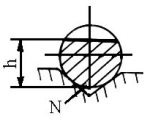
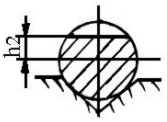
$$K_1 = \frac{1+\sin\alpha/2}{2\sin\alpha/2},\ K_2 = \frac{1-\sin\alpha/2}{2\sin\alpha/2},\ K = \frac{1}{2\sin\alpha/2}; \quad (4.5)$$

T – допуск діаметра бази.

Підставляючи в (4.5) значення кутів призми відповідно 60°, 90°, 120° і 180°, одержимо значення коефіцієнтів K, наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнта

Номер схеми	Положення конструкторської бази	Значення коефіцієнта K при куті призми			
		60°	90°	120°	180°
1		1,5	1,21	1,08	1,0
2		0,5	0,21	0,08	0
3		1,0	0,7	0,58	0,5

Отже, з формул (4.2)–(4.4) видно, що похибка базування при встановленні валів у призму залежить від допуску базової поверхні і кута призми.

Типові схеми встановлення заготовок на зовнішню циліндричну поверхню та перпендикулярну до її осі площину і відповідні похибки базування наведені в [3, табл. 13.2].

Приклад

Визначити похибку базування при фрезеруванні паза (рис. 4.50), якщо вал встановлений у призмі з кутом α = 90º.

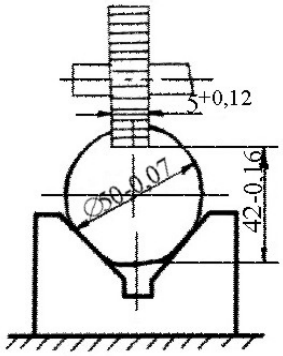


Рис. 4.50. Схема встановлення вала при обробці шпонкового паза

Розв'язання

За табл. 4.2 знаходимо, що задання розміру глибини паза відповідає схемі 2. Для кута α = 90° коефіцієнт К = 0,21. Тоді за формулою (4.2):

$$\varepsilon_б = 0{,}21 \cdot 0{,}07 \approx 0{,}015 \text{ мм}.$$

4.13.3. Похибка базування при встановленні за отвором

Похибка базування при встановленні за циліндричним отвором на жорстку оправку з'являється внаслідок наявності зазору між отвором і оправкою.

Конструкторською базою в даному випадку є вісь отвору, а технологічною базою – поверхня отвору. Незбігання баз внаслідок наявності зазору і призводить до появи похибки базування:

$$\varepsilon_б = S_{max} = S_{min} + T_A + T_B, \qquad (4.6)$$

де S_{max}, S_{min} – максимальний і мінімальний зазори між отвором заготовки і оправкою;

T_A, T_B – відповідно допуск на діаметр отвору і оправки.

Максимально можливе незбігання осей отвору та осі обробленої зовнішньої поверхні (ексцентриситет) при цьому дорівнює:

$$e = 0{,}5\varepsilon_б.$$

Приклад

Чистове шліфування зовнішньої циліндричної поверхні (рис. 4.51) виконується на оправці з посадочним діаметром $25_{-0{,}014}$ мм. Базовий отвір має

розмір $\varnothing 25^{+0,085}_{+0,025}$ мм. Визначити похибку базування втулки.

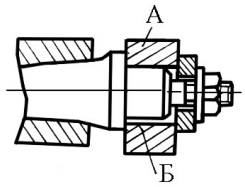


Рис. 4.51. Схема встановлення втулки на жорсткій оправі

Розв'язання

В даному випадку: S_{min} = 0,025 мм; T_A = 0,085 – 0,025 = 0,060 мм; T_B = 0,014 мм.

Отже, похибка базування буде рівною:

$$\varepsilon_б = 0,025 + 0,060 + 0,014 = 0,099 мм.$$

Типові схеми встановлення заготовок на внутрішню циліндричну поверхню та відповідні похибки базування наведені в [3, табл. 13.3].

4.13.4. Похибки базування при встановленні на площину і два отвори

Похибка базування в горизонтальній площині проявляється у зміщенні заготовки при виборі зазорів між отвором і пальцями в один і різні боки. Внаслідок цього технологічна (поверхня отвору) і вимірювальна (його вісь) бази не збігаються.

При встановленні на площину і два отвори похибка базування деталі виникає у результаті зміщення останньої в напрямку розмірів A_1 і A_2 внаслідок вибирання зазорів в одному напрямку (рис. 4.52, *а*) чи перекосу в площині базування відносно осей пальців внаслідок вибирання зазорів у різних напрямках (рис. 4.52, *б*).

Похибки базування будуть рівні:

1) в напрямках розмірів A_1 і A_2:

$$\varepsilon_б A_1 = \varepsilon_б A_2 = S_{max}. \quad (4.7)$$

2) найбільш можливий кут перекосу деталі:

$$\varepsilon_б = tg\alpha = \frac{S_{1max} + S_{2min}}{2L}, \quad (4.8)$$

де S_{1max}, S_{2min} – максимальний зазор у з'єднанні базового отвору відповідно з першим і другим пальцем;

L – відстань між центрами базових отворів (номінальний розмір).

Посадка отворів на пальці виконується, як правило, за посадками H7/f7 або H7/g7.

Перекіс заготовки на кут α впливає не тільки на точність розмірів, а й на точність відносного розташування оброблюваних поверхонь відносно баз (A_1, A_2 і α на рис. 4.53).

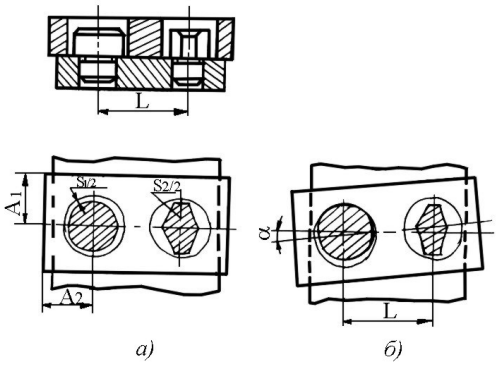


Рис. 4.52. Схема встановлення пластини на площину і два отвори

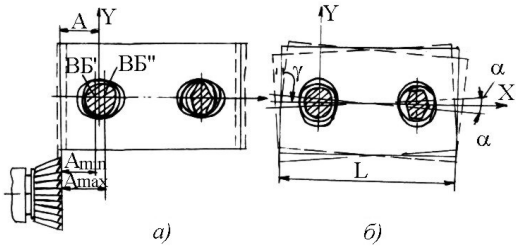


Рис. 4.53. Схема виникнення похибки базування

Приклад

Визначити найбільшу кутову похибку при базуванні оброблюваної заготовки за двома отворами $D_1 = 50^{+0,05}$ мм і $D_2 = 12^{+0,035}$ мм, що розташовані на відстані L = 150 мм (рис. 4.52). Діаметри циліндричного та зрізаного пальців відповідно рівні: $d_1 = 50^{-0,02}_{-0,10}$ мм, $d_2 = 12^{-0,02}_{-0,07}$ мм.

Розв'язання

Визначаємо найбільший зазор у з'єднанні отвору $\varnothing 50^{-0,02}_{-0,10}$ мм із пальцем $\varnothing 50^{-0,02}_{-0,10}$: S_{max1} = 0,05 +0,10 = 0,15 мм.

Розраховуємо найбільший зазор у з'єднанні отвору $\varnothing 12^{+0,035}$ мм із пальцем: S_{max2} = 0,035 + 0,07 = 0,105 мм.

Визначаємо за формулою (4.7) найбільший кут перекосу заготовки:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{0,15 + 0,105}{2 \cdot 150} = 0,00085 \cdot$$

Таким чином, можливий перекіс дорівнює 0,127 мм на довжині 150 мм, а кутова похибка α = 4'

Типові схеми встановлення заготовки на два циліндричних отвори з паралельними осями та на перпендикулярну до них площину і відповідні похибки базування наведені в [3, табл. 13.5].

4.13.5. Похибки базування при встановленні за конусним отвором

При такому встановленні на жорсткий конусний палець (рис. 4.54) похибка базування в напрямку розміру Н виникає в результаті зміни розміру А, яка відбувається через коливання величини d конусного отвору.

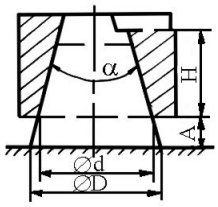


Рис. 4.54. Схема встановлення вала в центрах

Величину похибки базування визначають за формулою:

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{\mathrm{Td}}{2\mathrm{tg}\alpha/2}. \qquad (4.9)$$

4.13.6. Похибка базування при встановленні в центрах

Ця похибка виникає внаслідок похибки виконання центрових отворів. В результаті не забезпечується фіксоване положення вала у поздовжньому напрямку (рис. 4.55, *а*). Вимірювальна (лівий торець вала) і технологічна (вершина центрового отвору) бази не збігаються.

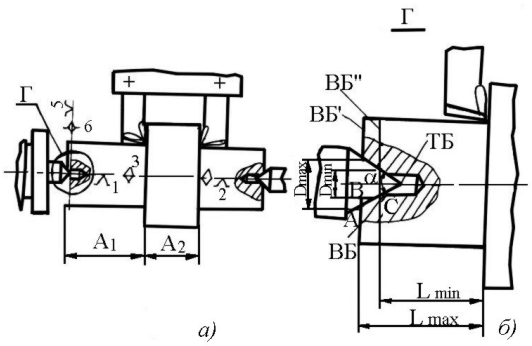


Рис. 4.55. Схема встановлення вала в центрах

У партії заготовок внаслідок неоднакової глибини центрових отворів їх діаметр змінюється від D_{min} до D_{max} (рис. 4.55, *б*). У зв'язку з цим при підтисканні

заднім центром буде змінюватись положення лівого торця вала (вимірювальної бази) відносно встановленого на розмір А різця.

Тоді похибка базування:

$$\varepsilon_б = L_{max} - L_{min}.$$

З трикутника АВС:

$$\varepsilon_б = \frac{\omega_д}{2\mathrm{tg}\alpha/2}. \qquad (4.10)$$

Шляхи зменшення похибки базування:

а) підвищити точність зацентровування – контролювати глибину центрового гнізда калібром;

б) сортування заготовок за діаметром центрових гнізд на розмірні групи з наступним підналагодженням системи при переході на обробку валів з центровими отворами нової розмірної групи.

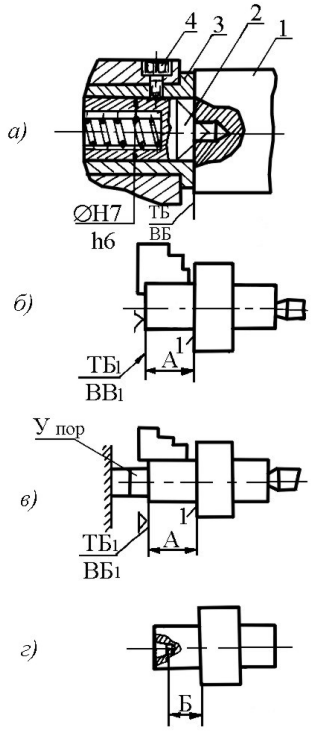


Рис. 4.56. Схеми встановлення вала, що виключають похибку базування в осьовому напрямку

Шляхи виключення похибки базування:

а) застосувати плаваючий передній центр, суміщати технологічну і вимірювальну бази (рис. 4.56, *а*). При підтисканні заготовки 1 заднім центром плаваючий центр 2 втоплюється в корпусі 3 до тих пір, поки торець заготовки не віпреться в торець корпусу (або у спеціальний упор). При цьому, незалежно від глибини (діаметра) центрового отвору, торці всіх заготовок партії займуть цілком

визначене положення, технологічна і вимірювальна база сумістяться. Потрібне положення фіксується гвинтом 4. Однак при цьому необхідно пам'ятати, що внаслідок посадок із зазором у з'єднаннях плаваючого центра жорсткість технологічної системи буде зменшеною;

б) не використовувати переднє центрове гніздо, встановлюючи, наприклад, лівий кінець вала в цанговому чи кулачковому патронах з упором в торець (рис. 4.56, *б*, *в*);

в) поздовжні розміри задавати від технологічної бази – вершини центрового гнізда (рис. 4.56, *г*). При цьому встановлення на передній центр буде забезпечувати суміщення баз.

Типові схеми встановлення заготовок на центрові гнізда та конічні фаски і відповідні похибки базування наведені в [3, табл. 13.4].

4.14. Призначення технологічних баз

Від правильного вибору технологічних баз суттєво залежить: фактична точність виконання розмірів, заданих кресленням; правильність взаємного розташування поверхонь; ступінь складності та конструкція необхідних пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів; продуктивність обробки.

Для призначення технологічних баз вихідними даними є:

- складальне креслення вузла чи виробу;
- креслення деталі після конструкторського та технологічного контролю;
- умови виробництва: програма (обсяг) випуску, склад і стан технологічного обладнання, оснащеність пристроями, різальним та вимірювальним інструментом, кваліфікація робітників.

В основі методики вибору технологічних баз лежать два принципи: суміщення (єдності) та сталості баз.

Принцип суміщення баз

Цей принцип полягає в тому, що при призначенні технологічних баз для формоутворення окремих поверхонь чи складання за технологічні бази потрібно приймати поверхні, які одночасно є конструкторськими та вимірювальними базами (див. рис. 4.57) [6].

При використанні цього принципу точність не залежить від розмірів, отриманих при виконанні попередніх операцій. Обробка заготовок здійснюється за розмірами, що визначають координатне положення поверхонь і проставлені в робочому кресленні з використанням всього поля допуску на розмір, нормованого конструктором. При цьому технологічні бази повинні забезпечувати можливість застосування простої та надійної конструкції пристрою для зручного встановлення, підведення оброблювального інструменту до оброблюваних поверхонь і досягнення заданих технічних вимог.

Проте, дотримання принципу єдності баз може призвести до необхідності застосування складного технологічного оснащення на окремих операціях, а в багатьох випадках різне координування конструктивних елементів взагалі не дозволяє витримувати цей принцип повністю.

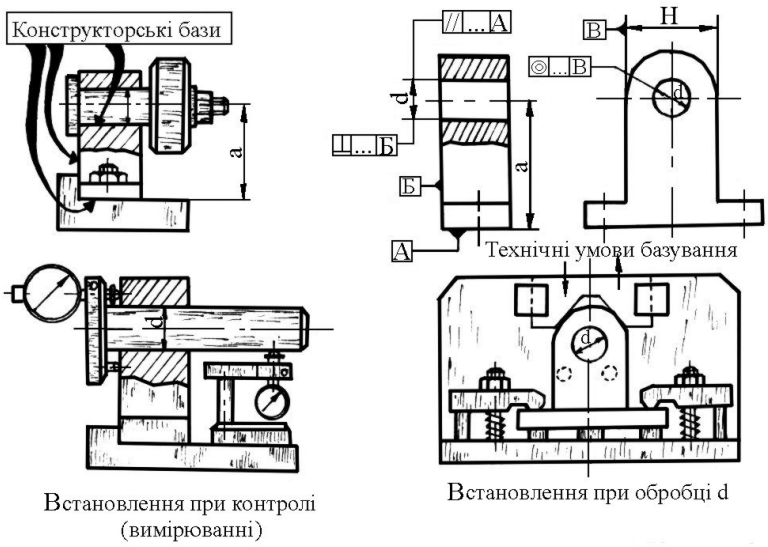


Рис. 4.57. Принцип суміщення (єдності баз)

Порушення принципу суміщення баз, коли технологічна база не збігається з конструкторською чи вимірювальною, вимагає необхідності заміни розмірів, проставлених в робочих кресленнях від конструкторських баз, більш зручними для обробки технологічними розмірами, проставленими безпосередньо від технологічних баз. Це призводить до створення технологічних розмірних ланцюгів і до необхідності зменшення допусків на деякі конструкторські розміри, а отже, і до подорожчання процесу обробки та зниженню його продуктивності.

Викладене проілюструємо наступним прикладом [6].

При обробці паза на глибину 10Н14 (рис. 4.58, *а*) для спрощення конструкції пристрою зручно встановити заготовку на нижню поверхню В (рис. 4.58, *г*). Оскільки дно паза С зв'язане розміром $10^{+0,36}$ мм з верхньою площиною А, ця площина є для паза конструкторською та вимірювальною базами. В цьому випадку технологічна база (поверхня В) не збігається з конструкторською та вимірювальною базами і не зв'язана з ними ні розміром, ні умовами правильного взаємного положення.

Оскільки при роботі на настроєному верстаті відстань від осі фрези до площини стола зберігається незмінною (К = const), а отже, постійний і розмір с, який на кресленні відсутній, то розмір глибини паза а = $10^{+0,36}$ мм не може бути витриманим, оскільки на його коливання безпосередньо впливає похибка розміру b = $50_{-0,62}$ мм, який витриманий на попередній операції (рис. 4.58, *б*). Очевидно, що на операційному ескізі фрезерування паза в цьому випадку необхідно поставити технологічний розмір с, точність якого не залежить від попередньої операції, а конструкторський розмір а = $10^{+0,36}$ мм доцільно з ескізу зняти. Розрахунок технологічного розміру с, а також нового технологічного допуску розміру b можна провести, виходячи із розмірного ланцюга, наведеного на рис. 4.58, *в*. З даного рисунка видно, що:

$$c = b - a = 50 - 10 = 40 \text{ мм}.$$

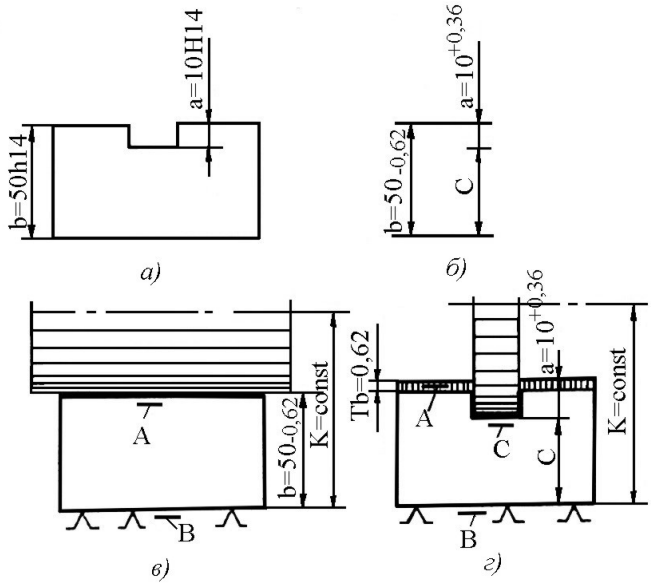


Рис. 4.58. Приклад до принципу суміщення баз

Допуск розміру с визначається з того ж розмірного ланцюга, в якому вихідним розміром є конструкторський розмір $a = 10^{+0,36}$ мм, оскільки весь розрахунок проводиться на основі передумови, що розмір а повинен бути автоматично отриманий в межах заданого конструктом допуску при виконанні складових розмірів ланцюга в і с в межах встановлених для них допусків. У відповідності з формулою (3.4):

$$T_a = T_в + T_c,$$

звідки:

$$T_c = T_a – T_в = 0,36 – 0,62 = 0,26.$$

Оскільки допуск – величина додатна і від'ємною бути не може, отримане рівняння не може бути розв'язане без збільшення зменшуваного чи без зменшення від'ємника. Допуск розміру а заданий конструктом і не може бути збільшений, тому єдиним способом розв'язання поставленої задачі є зменшення від'ємника, тобто зменшення допуску на розмір в. Зменшення $T_в$ необхідно провести таким чином, щоб на розмір в і на технологічний розмір с було встановлено допуски, які можна забезпечити технологічно. Оскільки з технологічної точки зору складність виконання розмірів в і с однакова (обидва розміри лежать в одному інтервалі розмірів і одержуються на горизонтально-фрезерному верстаті) від опорної технологічної бази, допуск розміру в зменшується до величини $T_в = 0,18$ мм, що дорівнює половині допуску вихідного розміру а. В цьому випадку на технологічний розмір с можна призначити допуск, близький до встановленого допуску розміру в.

Остаточно розмір призначається з допуском, що дорівнює найближчому стандартному із збереженням встановленого кресленням мінусового відхилення поля допуску від номіналу, тобто:

$$в = 50_{-0,16} = 50h11$$

Тоді розрахунковий допуск технологічного розміру:

$T_c = 0{,}36 - 0{,}16 = 0{,}20$ мм.

Граничні значення технологічного розміру с визначаються з того ж розмірного ланцюга (рис. 4.58, *в*), тобто:

$a = в - с;$

$a^{max} = в^{max} - с^{min};$

$с^{min} = в^{max} - a^{max} = 50 - (10 + 0{,}36) = 40_{-0,36}$ мм;

$a^{min} = в^{min} - с^{max};$

$с^{man} = в^{min} - a^{min} = 50 - 0{,}16 - 10 = 40_{-0,16}$ мм.

Розрахункова величина розміру $с = 40^{-0,16}_{-0,36}$ мм. Остаточно приймається найближче стандартне значення цього розміру $с = 40^{-0,17}_{-0,33}$ мм, що відповідає значенню 40b11.

Граничні значення проставленого технологічного розміру с знаходяться в межах розрахункових розмірів.

Перевірковий розрахунок на максимум і мінімум:

$a^{max} = 50 - (40 - 0{,}33) = 10^{+0,33}$

$a^{min} = 50 - 0{,}16 - (40 - 0{,}17) = 10^{+0,01}$

показує, що граничні значення вихідного конструкторського розміру а знаходяться в межах граничних розмірів, встановлених кресленням, і перерахунок розмірів виконаний вірно.

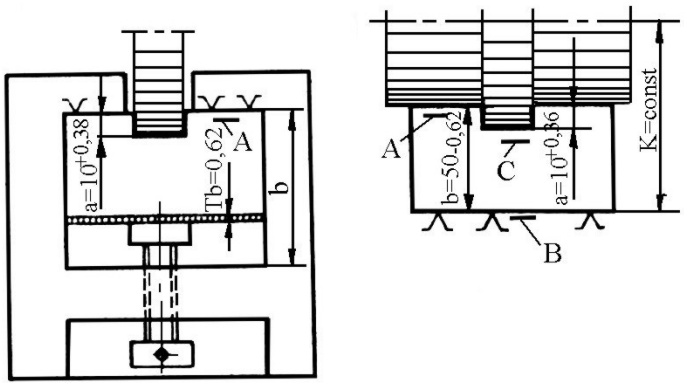
У випадках, коли стандартний розмір, що є найближчим до розрахункового технологічного розміру с, суттєво відрізняється за величиною свого поля допуску від розрахункового, остаточно може бути прийнятий розрахунковий розмір с.

На основі проведеного розрахунку в операційних ескізах заготовки замість розмірів, вказаних на кресленні 10H14 і 50h14 повинні бути проставлені нові розміри b = 50h11 і с = 40b11 Таким чином, у зв'язку з незбіжністю технологічної та конструкторської (вимірювальної) баз робітнику фактично доводиться витримувати більш жорсткий допуск у порівнянні з допусками, встановленими конструктором. В розглянутому випадку замість допусків по h14, встановлених кресленням, повинні бути витримані допуски по h11 і b11.

Якщо таке значне підвищення потрібної точності обробки призведе до надмірного зниження продуктивності та зростання собівартості продукції, то може виявитись доцільним використання спеціального пристрою, який би дозволив здійснити фрезерування паза безпосередньо від конструкторської бази А. Схема подібного пристрою зображена на рис. 4.59, *а*. Технологічна опорна база (площина А) є одночасно конструкторською базою, від якої без будь-яких перерахунків безпосередньо витримується конструкторський розмір $a = 10^{0,36}$ мм. Коливання розміру в ніяк не відіб'ється на точності одержання конструкторського розміру, тому зменшувати допуски тут немає потреби.

На рис. 4.59, *б* показане фрезерування поза комплектом фрез одночасно з площиною А. Як і у попередньому випадку, паз обробляється від технологічної бази – площини А (яка є тут настроювальною), що збігається з конструкторською та вимірювальною базами. Конструкторський розмір $a = 10^{0,36}$ мм одержується без будь-яких перерахунків і ніякого ужорсточування допусків, встановлених конструктором, тут також не потрібно. Площина В служить опорною технологічною базою для обробки площини А на розмір в, який також може

виконуватись зі встановленим кресленням допуском $T_в$ = 0,62 мм без його зменшення.



а) *б)*

Рис. 4.59. Приклад до принципу суміщення баз

Принцип сталості баз

Принцип сталості баз полягає в тому, що при розробці технологічного процесу необхідно всі або більшість операцій обробки виконувати від одних і тих же баз.

Прагнення здійснити обробку на одній технологічній базі пояснюється тим, що будь-яка заміна технологічних баз збільшує похибку взаємного розташування поверхонь, оброблених від різних технологічних баз, додатково вносячи в неї похибку взаємного розташування самих технологічних баз, від яких проводились обробки поверхонь.

Так, заготовка має чистові бази 1 і 2 (рис. 4.60, *а*) [2], причому база 2 має похибку Δα в кутовому розташуванні відносно бази 1. Якщо обробку поверхонь 3 і 4 вести відповідно від баз 1 і 2, порушуючи принцип сталості баз, взаємне розташування оброблених поверхонь матиме додаткову похибку (рис. 4.60, *б*, *в*) взаємного розташування баз, від яких велась обробка цих поверхонь. Якщо обробку поверхонь вести від однієї бази – поверхні 1 (рис. 4.60, *г*, *д*), або поверхні 2 (рис. 4.60, *е*, *є*) відносне розташування оброблених поверхонь буде значно точнішим, оскільки в похибку розташування не буде додатково включатись похибка взаємного розташування технологічних баз. Тому без серйозного обгрунтування змінювати бази не можна.

Маючи на увазі всі переваги принципу сталості баз, до його застосування все ж потрібно підходити обачливо. На операціях, де потрібно забезпечити високу точність розмірів, заданих від поверхонь, які є технологічними базами, застосування принципу незмінності баз призводить до більш довгих технологічних розмірних ланцюгів. При вузьких допусках на розміри розташування потрібно віддавати перевагу принципу суміщення баз.

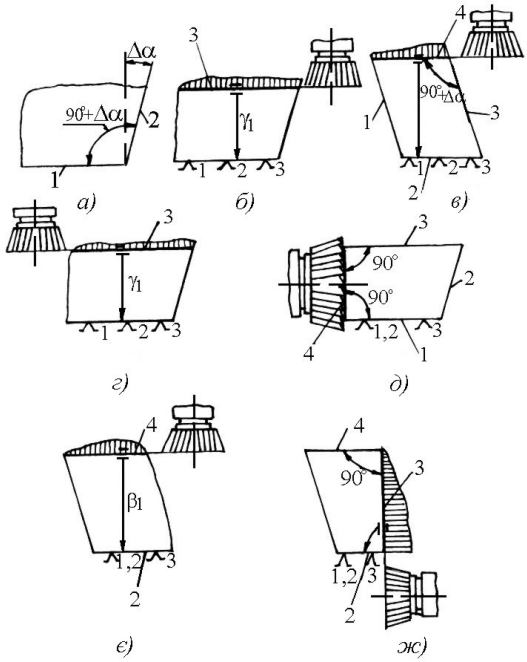


Рис. 4.60. Вплив зміни баз на точність розташування оброблених поверхонь

4.15. Типові комплекти технологічних баз при обробці заготовок різних класів

4.15.1. Базування корпусних і коробчастих заготовок

Найбільш поширеними комплектами баз при виготовленні корпусних і коробчастих деталей є:

Комплект № 1. Три взаємно перпендикулярні площини, які належать деталі і визначають собою установчу базу (3 ступені вільності), напрямну базу (2 ступені вільності) і упорну базу (1 ступінь вільності).

На рис. 4.61 показана така схема базування.

Переваги:

- порівняно проста конструкція пристрою;
- простота встановлення заготовки.

Недоліки:

- неможливість забезпечити рівномірність припусків на отворах і поверхнях, паралельних і перпендикулярних напрямній базі;
- необхідність дотримання правильного контакту деталі з установчими елементами пристрою при силовому замиканні.

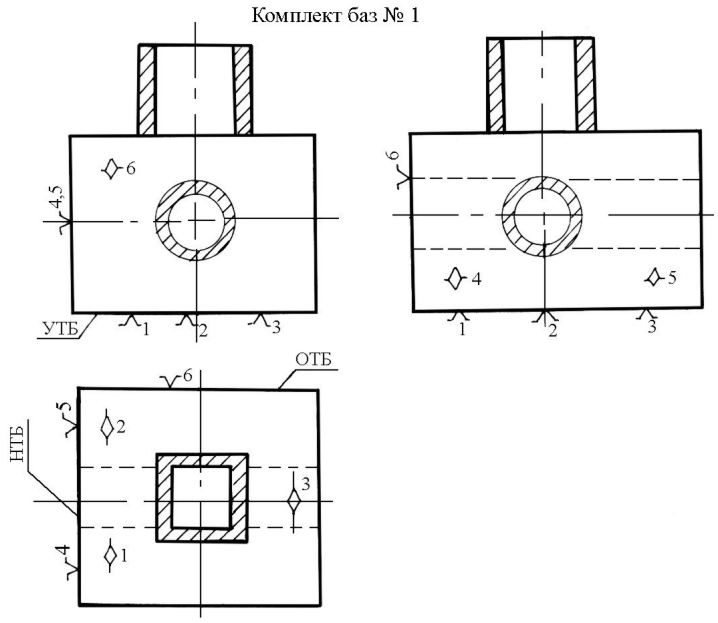


Рис. 4.61. Базування корпусної деталі по трьох взаємо перпендикулярних площинах

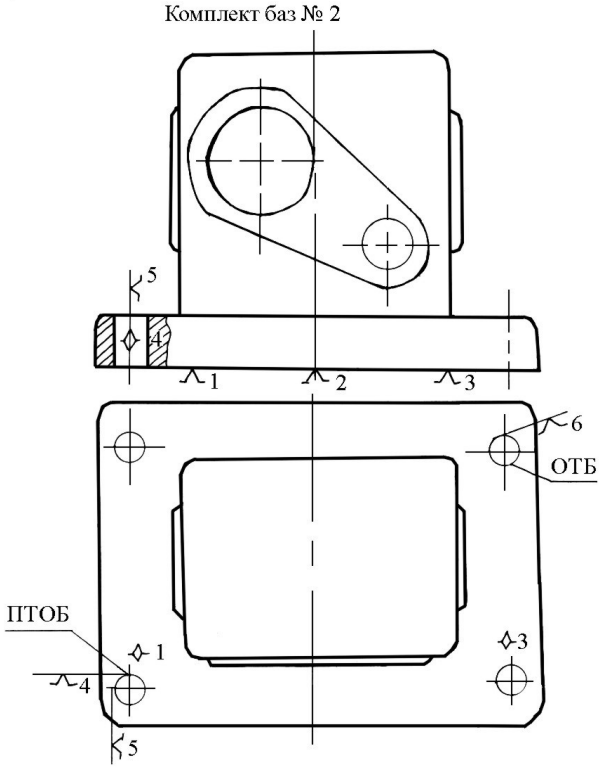


Рис. 4.62. Теоретична схема базування корпусної деталі на площину і два отвори

Комплект № 2. Площина (3 ступені вільності) і два отвори, перпендикулярні до цієї площини (2 + 1 ступені вільності) (рис. 4.62).

Ця схема реалізується за допомогою пристрою, який має площину і два коротких штирі, один з яких циліндричний, а другий зрізаний. Зрізаний штир розташовується так, щоб вісь зрізів була перпендикулярна до лінії, яка з'єднує осі штирів (рис. 4.63). Осі штирів повинні розташовуватись на максимально можливій відстані одна від одної. Тому часто штирі розташовують по діагоналі основи заготовки.

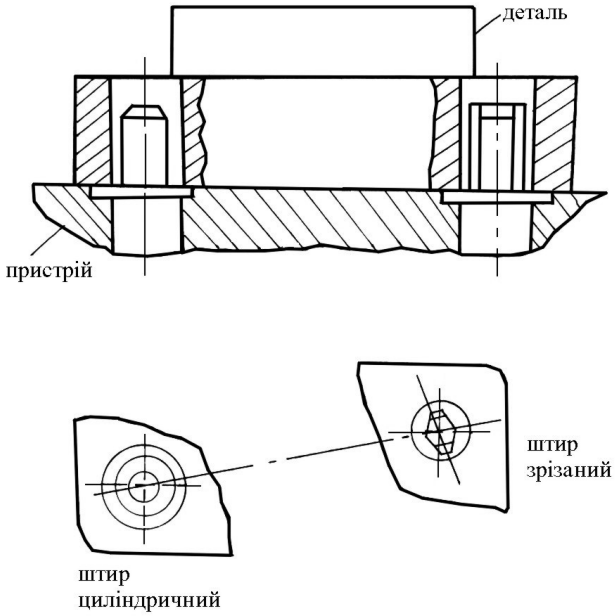


Рис. 4.63. Базування корпусної деталі на площину і два циліндричних отвори

Завдяки короткому циліндричному штирю поверхня отвору позбавляє деталь двох ступенів вільності (подвійна опорна база).

Зрізаний штир обмежує поворот деталі відносно осі циліндричного штиря, тобто позбавляє деталь одного ступеня вільності.

Переваги:

- простота конструкції пристрою;
- простота встановлення заготовки;
- відсутність необхідності стежити за контактом деталі з установчими елементами при силовому замиканні.

Недоліки:

- швидке зношування штирів, особливо при невеликому діаметрі (до 10 мм);
- можливість застосування тільки для деталей, які мають в основі два точних отвори (H7);
- наявність похибки базування, величина якої може бути визначена (рис. 4.64).

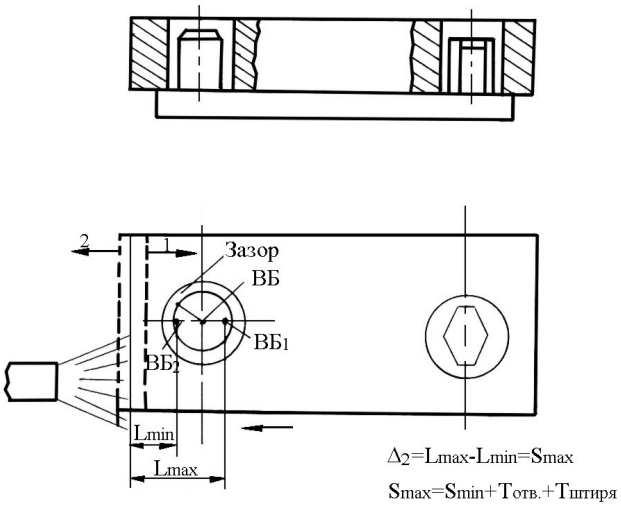


Рис. 4.64. Визначення похибки базування

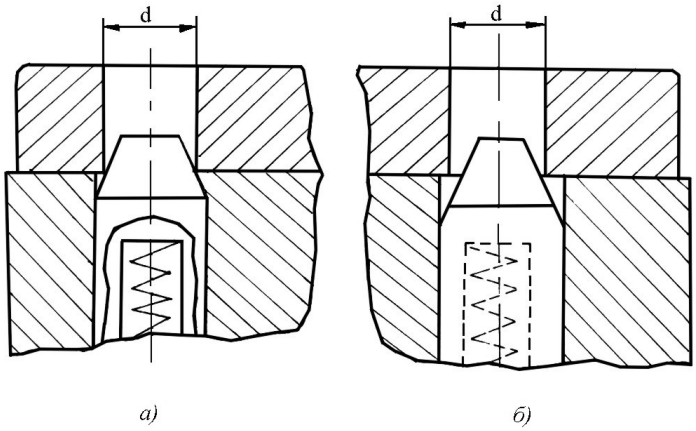


Рис. 4.65. Потопаючий штир: а – конічний; б – конічний зрізаний

$$\Delta_z = L_{max} - L_{min} = S_{max},$$

де L_{max} і L_{min} – граничні відстані обробленої поверхні до вимірювальної бази;

S_{max} – максимальний зазор у з'єднанні штир–отвір:

$$S_{max} = S_{min} + T_{отв} + T_{шт},$$

де $T_{отв}$ і $T_{шт}$ – допуски відповідно на отвір і штир;

S_{min} – мінімальний гарантований зазор.

Для зменшення похибки базування необхідно перейти на посадку більш високого квалітету (замість H7 прийняти H6).

Повністю ліквідувати похибку базування можна лише застосувавши беззазорну посадку, що конструктивно можна досягти застосувавши конічний потопаючий штир, який показаний на рис. 4.65. Другий конічний потопаючий штир повинен бути зрізаним. В цьому випадку похибка в обох взаємно перпендикулярних напрямках (при вигляді заготовки зверху) дорівнює нулю. Однак в цьому випадку конструкція

пристрою ускладнюється.

Примітка: цю схему (з конічними штирями) можна назвати по іншому, а саме: площина і осі двох коротких отворів, перпендикулярних до даної площини.

Комплект № 3. Площина основи (3 ступені вільності), циліндрична виточка (2 ступені вільності) і один отвір збоку під зрізаний штир (1 ступінь вільності) (рис. 4.66).

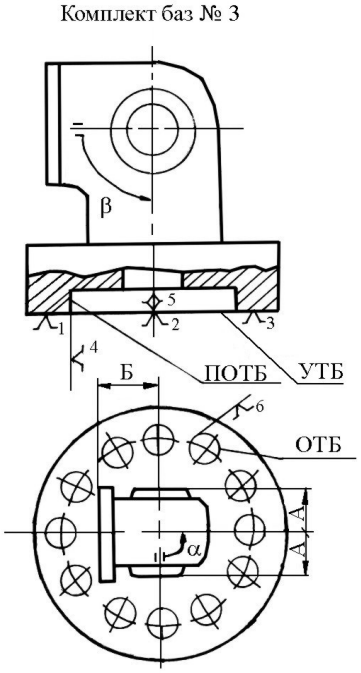


Рис. 4.66. Теоретична схема базування корпусної деталі на плоску поверхню, циліндричну виточку і отвір на фланці

В цьому випадку циліндричною виточкою, якщо вона буде посаджена на короткий циліндричний палець, буде позбавлена двох ступенів вільності, а заготовка, з боковим отвором якщо вона буде посаджена на зрізаний палець, позбавляє заготовку можливості обертатися навколо осі центрального пальця, тобто позбавляє її останнього шостого ступеня вільності.

Таким чином, даний комплект баз в принципі є частинним випадком розглянутого вище комплекту. Тому йому властиві розглянуті вище переваги та недоліки.

Примітки:

1. Розглянутий комплект баз особливо зручно застосувати за наявності точного центрального отвору, вісь якого зв’язана умовами співвісності чи перпендикулярності (чи того і іншого) з іншими осями і поверхнями, як це має місце на рис. 4.66.

2. В цій схемі також можна застосувати в пристрої центральний штир. Тоді ця схема буде мати назву: “Площина, вісь кільцевої виточки і вісь отвору збоку”.

Комплект № 4. Площина основи (3 ступені вільності), короткий циліндричний бурт (2 ступені вільності) і один отвір під зрізаний штир (1 ступінь вільності) (рис. 4.67).

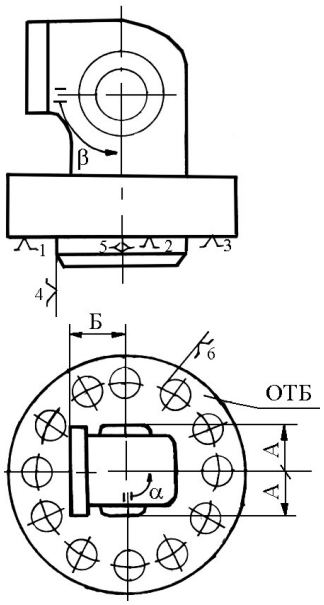


Рис. 4.67. Теоретична схема базування корпусної деталі на плоску поверхню, циліндричний бурт і отвір на фланці

Даний комплект баз є частковим випадком розглянутого вище комплекту № 3. Тому все раніше сказане про комплект № 3 справедливо і для комплекту № 4.

Комплект № 5. Площина основи (2 ступені вільності), велика площина торця (3 ступені вільності) і основний отвір (1 ступінь вільності) (рис. 4.68).

Площина основи тут, як така, що має менші габаритні розміри, виконує роль напрямної бази. Площина торця, як така, що має максимальні габарити, виконує роль установчої бази (зусилля Р повинно притискати заготовку не до основи, а до торця).

Для того щоб заготовка торкнулась основою двома опорними точками необхідно, щоб циліндричний палець був зрізаний і вісь зрізу повинна бути розташована паралельно напрямній базі. Зрізаний палець у даному випадку відіграє роль опорної бази, яка позбавляє заготовку можливості переміщатись вздовж напрямної бази.

Переваги:

- порівняно проста конструкція пристрою;
- простота встановлення заготовки;
- можливість забезпечення точності елементів заготовки, які симетрично розташовані відносно осі деталі.

Недоліки:

- підвищені вимоги до точності основного отвору і площини основи, що потребує їх попередньої обробки;
- наявність похибки базування:

$$\Delta_z = L_{max} - L_{min} = S_{max},$$

де L_{max} і L_{min} – граничні відстані обробленої поверхні до вимірювальної бази (осі симетрії заготовки);

S_{max} – максимальний зазор у з'єднанні палець–отвір:

$$S_{max} = S_{min} + T_{отв} + T_{п};$$

$T_{отв}$ і $T_{п}$ – допуски відповідно на отвір і палець;

S_{min} – мінімальний гарантований зазор.

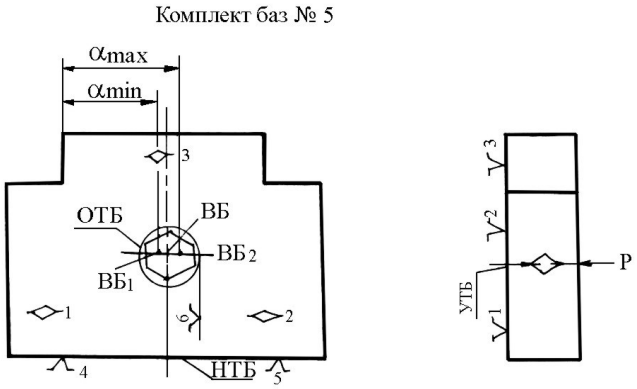


Рис. 4.68. Теоретична схема базування деталі типу плита по двох площинах і отвору

Повністю ліквідувати похибку базування можна за рахунок застосування конічного зрізаного підпружиненого пальця, але це ускладнює конструкцію пристрою.

Всі розглянуті 5 комплектів представляють собою повну схему базування (6 ступенів вільності). В залежності від поставленої задачі будь-який із розглянутих комплектів може бути перетворений (шляхом відкидання опорних точок) у неповну схему базування. В таких випадках найчастіше за інші використовують п'ятиопорну і рідше триопорну схему базування.

4.15.2. Базування заготовок типу тіл обертання

Найбільш поширеними комплектами баз при виготовленні деталей типу тіл обертання є:

Комплект № 1. Циліндрична поверхня (4 ступені вільності) і торець (1 ступінь вільності). Циліндрична поверхня у даному випадку повинна бути довгою ($\ell/d > 1$) і виконувати роль подвійної напрямної бази. Торець виконує роль опорної бази. Даний комплект баз застосовується в двох різновидах: циліндрична поверхня, що використовується як подвійна напрямна база, є зовнішньою і циліндрична поверхня є внутрішньою (рис. 4.69).

Обидва ці різновиди є схемами неповного базування, оскільки позбавляють деталь тільки 5 ступенів вільності. Перша схема реалізується в призмах, друга – за допомогою циліндричної оправки.

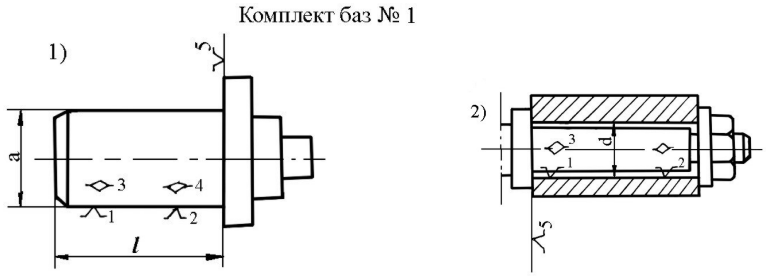


Рис. 4.69. Теоретичні схеми базування довгих заготовок типу тіл обертання

Комплект баз № 1 застосовується також при фрезеруванні торців заготовок валів. При цьому, якщо заготовка вала за конфігурацією відповідає формі майбутнього вала, то вона встановлюється на дві короткі шийки в призмі (дві подвійні опорні бази, які позбавляють заготовку 4-х ступенів вільності). Як опорна база в цьому випадку використовується торцева поверхня, яка на конструкторському кресленні зв'язана розміром з торцем вала (рис. 4.70, *а*). Якщо заготовка вала гладка, то вона також встановлюється в призми, а опорною базою є один із оброблюваних торців вала. Дана схема реалізується за допомогою відкидного упора (рис. 4.70, *б*), який після силового замикання (перед початком обробки) відкидається.

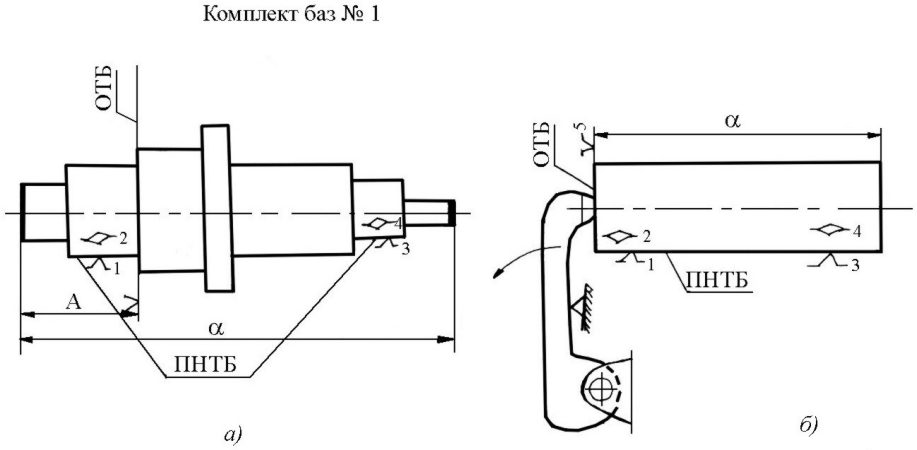


Рис. 4.70. Теоретичні схеми базування валів при обробці торців

Комплект № 2. Торець (3 ступені вільності) і циліндрична поверхня (2 ступені вільності).

Торець (площина) виконує в даному випадку роль установчої бази. Циліндрична поверхня (коротка, $\ell/d < 1$) виконує роль подвійної опорної бази.

Як і в попередньому випадку, даний комплект має два різновиди: в одному з них циліндрична поверхня є зовнішньою, в другому – внутрішньою (рис. 4.71).

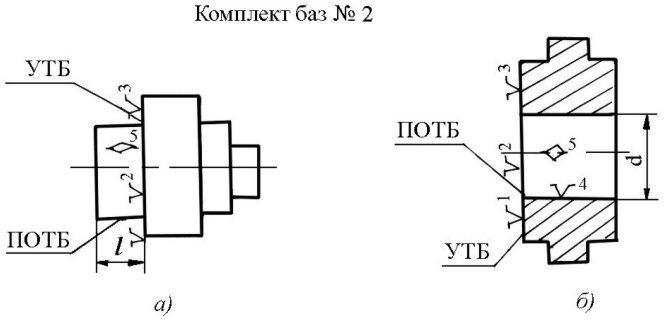


Рис. 4.71. Теоретичні схеми базування коротких деталей типу тіл обертання: а – циліндрична поверхня є зовнішньою; б – циліндрична поверхня є внутрішньою

Перший варіант реалізується при базуванні в призмі, другий – за допомогою короткої оправки.

Комплект № 3. Вісь заготовки (4 ступені вільності) і конічна поверхня лівого центрового отвору (1 ступінь вільності).

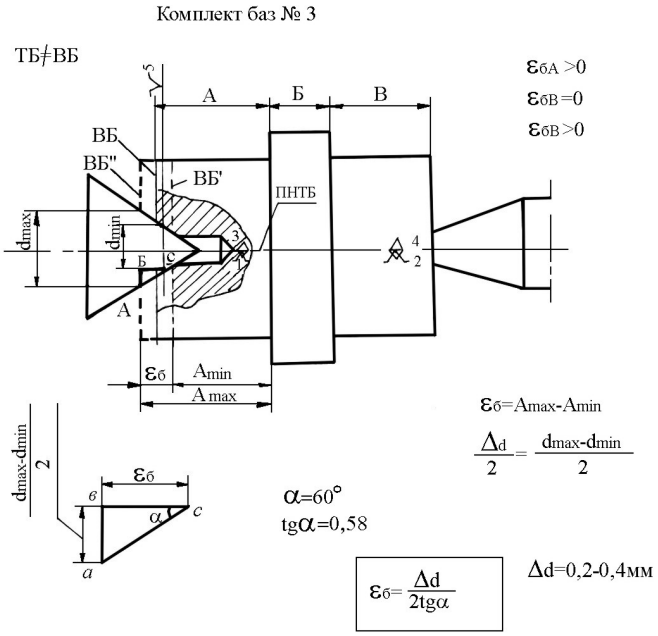


Рис. 4.72. Визначення похибки базування при витриманні лінійних розмірів при обробці вала в жорстких центрах

Така схема базування застосовується при обробці валів в центрах. Конічні поверхні центрових отворів виконують функції подвійних опорних баз. Конічна поверхня лівого центрового отвору, яка обмежує переміщення вала в осьовому напрямку, виконує, крім того, роль опорної бази.

Теоретична схема базування при обробці вала в центрах наведена на рис. 4.72.

Дана схема базування забезпечує при токарній обробці та шліфуванні досить високу точність діаметральних розмірів і співвісність всіх циліндричних поверхонь. Проте при витримуванні лінійних розмірів виникають (через похибки зацентровування) похибки базування, обумовлені різним положенням вимірювальної бази (див. рис. 4.72).

Комплект №4. Вісь заготовки (4 ступені вільності) і торець (1 ступінь вільності).

Даний комплект може бути матеріалізований в різних варіантах (див. рис. 4.73 і 4.74).

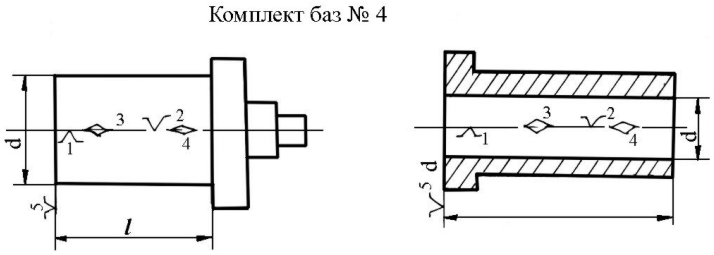


Рис. 4.73. Теоретичні схеми базування заготовок типу тіл обертання з використанням осі як бази

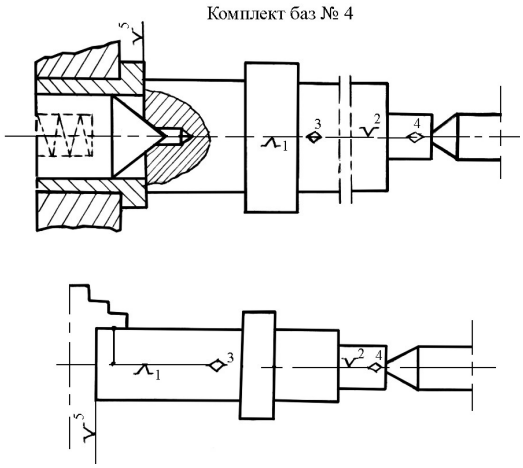


Рис. 4.74. Реалізація схем базування заготовок типу тіл обертання з використанням осі як бази

Схема 1 реалізується за допомогою центрів. Однак на відміну від схеми, яка представляє комплект баз № 3, ця схема припускає застосування підпружиненого потопаючого лівого центра, що виключає похибку базування при витримуванні лінійних розмірів.

Схема 2 реалізується за допомогою самоцентруючого патрона з осьовим упором і центра задньої бабки, схема 3 – за допомогою самоцентруючого патрона з

подовженими губками (кулачками), схема 4 – за допомогою самоцентруючих розтискних оправок.

Комплект № 5. Похила конічна поверхня (5 ступенів вільності), яка символізує вісь заготовки (подвійна напрямна база) і опорну базу.

Дана схема базування застосовується у двох варіантах:

- коли оброблювана заготовка має похилий конічний отвір;
- коли оброблювана заготовка має похилий конічний хвостовик.

Обидві ці схеми наведені на рис. 4.75.

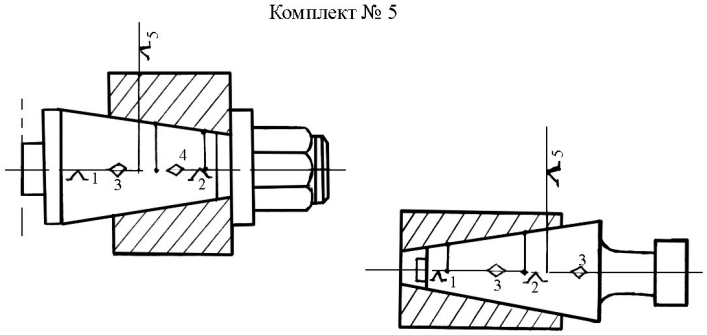


Рис. 4.75. Використання осі пологої конічної поверхні як подвійної напрямної та опорної баз

Кожна з цих схем потребує точно оброблених конічних поверхонь. Схеми широко використовуються на фінішних операціях у верстатобудуванні та інструментальному виробництві.

Розглянуті 10 схем базування найбільш часто застосовуються при виготовленні корпусних, коробчастих деталей та деталей типу тіл обертання.

4.15.3. Базування за обробленими поверхнями

При окремих видах чистової та оздоблюваної обробки базами можуть бути самі оброблювані поверхні.

З однією такою схемою ми вже познайомились (схема базування гладкої заготовки вала при фрезеруванні торців) (рис. 4.70). Як інші приклади можна навести схему базування заготовки при шліфуванні на безцентровошліфувальному верстаті. Оброблювана поверхня в даному випадку є подвійною напрямною базою (неповна схема базування).

При протягуванні отворів поверхня останнього також є технологічною базою. При цьому якщо $\ell/d > 1$, то поверхня отвору є подвійною напрямною базою, якщо $\ell/d < 1$ – то подвійною опорною базою. Подібні ж схеми базування використовуються при хонінгуванні та суперфінішуванні поверхонь.

При виготовленні кулі на всіх технологічних операціях як технологічні бази, використовується оброблювана поверхня.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення базування і бази при виготовленні деталей, складанні та ремонті машин.
2. На які теоретичні положення спирається теорія базування?
3. Дайте визначення теоретичної схеми базування. Як умовно вони позначаються?
4. Наведіть схему базування призматичного тіла. Які бази при цьому беруть участь, їх роль та способи практичної реалізації.
5. Наведіть схему базування циліндричного тіла, які бази при цьому беруть участь? Їх роль та способи практичної реалізації?
6. Наведіть схему базування диска. Які бази при цьому беруть участь, їх роль та способи практичної реалізації?
7. Наведіть схему базування в центрах. Які бази при цьому беруть участь, їх роль?
8. Наведіть схему базування за довгою конусною поверхнею. Які бази при цьому беруть участь? Способи практичної реалізації
9. Наведіть схему базування площиною та двома отворами з перпендикулярними до неї осями. Які бази при цьому беруть участь, їх роль?
10. Наведіть схеми базування за внутрішнім циліндричним отвором. Які бази при цьому беруть участь, їх роль та способи практичної реалізації?
11. Сформулюйте “правило шести точок”.
12. Що розуміється під повним і неповним базуванням?
13. За якими ознаками класифікуються технологічні бази? Дати їх коротку характеристику.
14. Яку роль виконують направлені затискачі при базуванні заготовок?
15. Наведіть приклади явних і прихованих баз. Яка суттєва різниця між ними?
16. Що розуміється під визначеністю та невизначеністю базування? Причини, за якими може відбуватись невизначеність базування.
17. Що розуміється під організованою зміною баз? Які при цьому треба виконати заходи для забезпечення точності обробки?
18. Сформулюйте правила розробки теоретичних схем базування та наведіть приклади.
19. Які дві задачі потрібно розв’язати при встановленні заготовок у пристроях?
20. Як утворюється похибка встановлення заготовки у пристрої? Її основні причини.
21. Що розуміється під похибкою базування? Умови її виникнення.
22. Що розуміється під похибкою закріплення заготовки? Заходи по її зменшенню та усуненню.
23. Як утворюється похибка базування при встановленні заготовки на площину? Фактори які обумовлюють її величину.
24. Як утворюється похибка базування при встановленні заготовки зовнішньою циліндричною поверхнею на призму? Фактори, які обумовлюють її величину.
25. Як утворюється похибка базування при встановленні заготовки отвором на оправку? Фактори що обумовлюють її величину.
26. Як утворюється похибка базування при встановленні заготовки на площину та два отвори? Фактори що впливають на її величину та заходи по зменшенню та

усуненню похибки базування.

27. Як утворюються похибки базування при встановленні заготовки в центрах? Заходи по зменшенню та усуненню похибки базування.

28. Які основні принципи призначення технологічних баз? Їх суть.

29. Розкрийте суть принципу “суміщення баз”.

30. Розкрийте суть принципу “сталості баз”.

31. Наведіть приклади типових схем базування корпусних деталей.

32. Наведіть приклади типових схем базування деталей типу тіл обертання.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.,1969. – 559 с.

2. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К. 1993. – 544 с.

3. Боровик А.І. Проектування технологічного оснащення. – К. 1996. – 488 с.

4. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – Изд. стандартов, 1987. – 35 с.

5. Колкер Я.Д., Руднев О.Н. Базирование и базы в машиностроении. – К.: Вища школа, 1991. – 100 с.

6. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М, 1985 – 496 с.

7. Руденко П.А. Теоретические основы технологии машиностроения: Конспект лекций. – Чернигов, 1986. – 258 с.

Тема 5. Загальна теорія точності механічної обробки

5.1. Оцінка точності обробки за допомогою визначення загальних похибок та їх складових

Точність деталі взагалі не має кількісної оцінки. Не можна казати, що точність дорівнює якійсь величині. Тому, як викладалось у темі 2, за міру точності приймають величини відхилень дійсних значень різних параметрів деталей від їх теоретичних або розрахункових значень. Таким чином, точність обробки оцінюється величинами дійсних відхилень параметрів або похибками обробки.

В умовах виробництва часто немає потреби навіть вимірювати похибки обробки. Достатньо визначити, чи знаходяться дійсні відхилення параметрів у межах заданих допусків, тобто встановити: ці деталі придатні, чи браковані. Але, щоб гарантувати стабільну точність обробки і відсутність браку, технолог зобов'язаний знати та прогнозувати не тільки загальні величини можливих похибок обробки, а й величини їх складових, що з'являються від дії різних причин та факторів систематичного і випадкового характеру.

Похибки, що виникають при виготовленні заготовок, обробці деталей різанням та інших видах обробки, при контролі та складанні, можна поділити на три види: систематичні постійні; систематичні, які закономірно змінюються, та випадкові.

Систематичні та випадкові похибки по-різному впливають на загальну точність обробки. Систематичні постійні та змінні похибки зміщують центр групування дійсних відхилень розмірів ($\overline{X}$) від розрахункового настроювального розміру, або рівня настроювання (X_0). Випадкові похибки викликають розсіяння розмірів відносно центра групування відхилень.

5.2. Систематичні похибки обробки

Систематичними називаються похибки, які для всіх оброблених заготовок (деталей) розглядуваної партії залишаються постійними або ж закономірно змінюються від кожної попередньої заготовки до наступної. У першому випадку похибка називається постійною, а у другому – змінною.

Основними причинами виникнення систематичних постійних та змінних похибок можуть бути:

1. Похибки теоретичної схеми обробки.
2. Неточність, зношування та деформації верстатів, пристроїв та інструментів у ненавантаженому стані, а також під впливом зусиль різання.
3. Силові пружні деформації оброблюваних заготовок.
4. Теплові деформації елементів технологічної системи.
5. Похибки налагодження верстатів на розміри обробки (загальна похибка обробки утворюється з декількох випадкових величин, а у випадку обробки всієї партії заготовок на одному налагодженні верстата діє як постійна систематична похибка).

5.3. Випадкові похибки обробки

Випадковими називаються похибки, які для різних заготовок розглядуваної партії мають різні значення, причому їх поява не підкоряється ніякій очевидній закономірності.

Випадкові похибки виникають в результаті дії великої кількості незв'язаних між собою факторів. Визначити заздалегідь момент появи і точну величину цієї похибки для кожної конкретної деталі в партії не можливо.

Випадкові похибки можуть бути безперервними і дискретними.

Безперервна випадкова похибка має будь-які числові значення в межах певного інтервалу.

Прикладами безперервних випадкових похибок можуть бути:

– положення заготовки на верстаті;

– похибки обробки, що викликаються відтисканням елементів технологічної системи під впливом нестабільних сил різання.

Дискретні випадкові похибки в технології машинобудування зустрічаються рідко. До них можна віднести, наприклад, похибку регулювання при використанні пристосувань ступінчастого типу.

Причинний зв'язок між випадковою похибкою і факторами, що викликають її появу, іноді буває відомим (явним), а іноді не достатньо відомим. Наприклад, для конкретного випадку обробки може бути виявлена залежність пружних відтискань технологічної системи від величини припуску, що знімається. Фактори, що викликають отримання різних діаметрів отворів, оброблених однією розверткою, є поки ще повністю нез'ясованими.

Визначити випадкову похибку для кожної деталі в партії практично не можливо, проте можна встановити межі зміни цієї похибки. При явно вираженому зв'язку між випадковою похибкою і факторами, що викликають її появу, межі зміни випадкової величини можуть бути визначені аналітичними розрахунками. Наприклад, різницю граничних відстаней від вимірювальної бази до оброблюваної поверхні, яка представляє собою похибку базування, можна заздалегідь обчислити, знаючи допуск на розмір заготовки. При неявному (невиявленому) зв'язку між випадковою похибкою та факторами, що впливають на її появу, межі зміни випадкової величини можуть бути встановлені на базі експериментальних досліджень. В процесі вивчення явищ невиявлені раніше зв'язки стають явними. В результаті цього можна більш повно враховувати вплив різних технологічних факторів на точність механічної обробки при розробці технологічного процесу.

Типовими причинами, що викликають появу випадкових похибок, діють одночасно і незалежно одна від одної, можуть бути:

1. Коливання величини припуску на обробку поверхні.
2. Коливання твердості оброблюваного матеріалу.
3. Зміни положення оброблюваних заготовок у пристроях, пов'язані з похибками їх базування та закріплення.
4. Неточності встановлення елементів технологічної системи на упорах.
5. Коливання температурного режиму обробки.
6. Коливання пружних відтискань елементів технологічної системи під впливом нестабільних зусиль різання.

5.4. Загальна характеристика методів дослідження та розрахунки точності механічної обробки

Відомі три методи дослідження і розрахунку точності механічної обробки: ймовірнісно-статистичний, розрахунково-аналітичний та розрахунково-статистичний.

Суть ймовірнісно-статистичного методу, його можливості, переваги та недоліки розглянуті вище у п. 3.2.2.

Суть розрахунково-аналітичного методу полягає в оцінюванні точності за аналітичними або емпіричними формулами для строго визначених умов виконання технологічного процесу.

Перевагою цього методу є врахування фізичних явищ у розглядуваному процесі з виявленням причин утворення похибок.

Недолік цього методу полягає у відсутності необхідних розрахункових формул для різноманітних конкретних процесів, що обмежує його практичне використання.

Розрахунково-статистичний метод базується на використанні переваг ймовірнісно-статистичного і розрахунково-аналітичного методів. Цей метод, як досить гнучкий, дозволяє визначити похибку процесу шляхом оцінки його окремих складових розрахунковим або статистичним шляхом. При нестачі розрахункових даних цей метод переважно носить ймовірнісно-статистичний характер. Разом з тим, окремі складові похибок можуть бути розраховані аналітично.

Далі розглянемо розрахунок похибок, що виникають під час механічної обробки, розрахунково-аналітичним методом.

5.5. Похибки, що викликаються різними технологічними факторами та методи їх розрахунку

5.5.1. Похибки теоретичної схеми обробки

Цей вид похибок виникає внаслідок заздалегідь свідомо допущених відхилень за конструктивно-технологічними, або економічними міркуваннями від теоретично точної схеми обробки.

При обробці деяких складних профілів фасонних деталей сама схема обробки припускає певні допущення і приблизні розв’язання кінематичних задач та спрощення конструкції різальних інструментів, що викликає появу систематичних похибок (звичайно систематичних похибок форми).

Наприклад, при нарізанні зубчастих коліс черв’ячними фрезами теоретична схема операції (кочення зубчастого колеса, що нарізається по прямолінійній рейці осьового перерізу черв’ячної фрези) свідомо порушується нахилом канавки, що створює різальні леза фрези, і це призводить до появи систематичної похибки евольвентного профілю зуба. Аналогічно виникають похибки евольвенти зуба в процесі стругання довбачем у зв’язку з порушенням правильного профілю останніх при створенні переднього кута при заточуванні.

При нарізанні зуба модульними фрезами систематичну похибку профілю зуба викликає невідповідність кількості зубів, що нарізаються, розрахунковому числу, для якого спроектована фреза.

При фрезеруванні та нарізанні різі обертовими різцями (вихрове нарізання) кінематична схема операції визначає появу огранки (хвилястості) поверхні різі, що є систематичною похибкою форми поверхні.

Розглянемо докладніше деякі приклади похибок теоретичної схеми обробки.

Приклад 1. Нарізання зубів зубчастих коліс дисковими або кінцевими модульними фрезами методом копіювання (ділення).

Профіль робочої частини модульної фрези (рис. 5.1) представляє собою копію профілю западини зубчастого колеса, що нарізається.

Профіль западини зубчастого колеса залежить від числа зубів z та модуля m при однаковому куті профілю. Тому для кожного модуля i числа зубів колеса теоретично необхідно мати окрему фасонну фрезу.

З техніко-економічних міркувань з метою зменшення номенклатури інструменту застосовують комплекти у складі 8 або 15 номерів фрез однакового модуля. Кожна фреза комплекту призначена для обробки групи коліс з різним числом зубів. Так, фреза другого номера з комплекту у 8 фрез призначена для коліс з числом зубів від 14 до 16, а фреза сьомого номера – для коліс з числом зубів від 55 до 134. Розрахунок профілю фрези ведеться по колесу з мінімальним числом зубів кожної групи. Всі інші колеса групи будуть мати заздалегідь визначені похибки обробки.

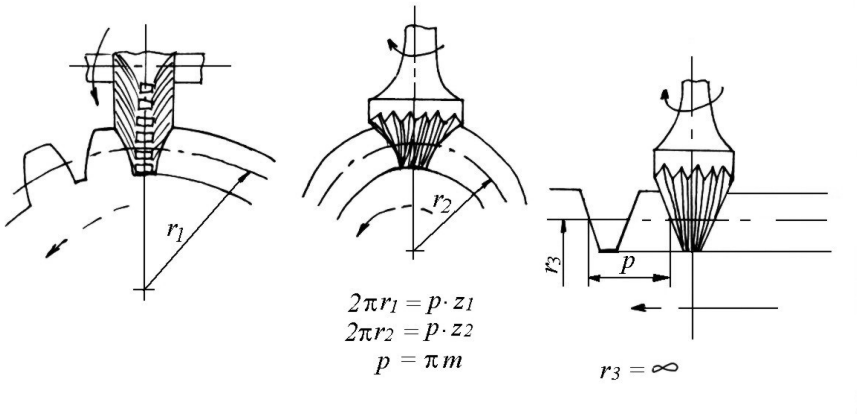


Рис. 5.1. Схема утворення систематичної похибки при нарізанні зубів методом копіювання

Приклад 2. Обробка конічних поверхонь фасонними радіальними різцями (рис. 5.2).

Теоретично точні радіальні фасонні різці, у яких передній кут $\gamma \neq 0$, а кут нахилу різальної кромки $\lambda = 0$, повинні мати криволінійну різальну кромку, що технологічно важко виконати. Тому при профілюванні таких різців для обробки конусів часто визначають тільки граничні точки різальної кромки (A B C′ D′) і з'єднують їх прямими лініями. У цьому випадку виникають похибки форми конічної поверхні. Якщо усунути похибки профілю на конічній поверхні деталі за рахунок кута нахилу $\lambda \neq 0$ різальної кромки A′ B C′′ D′′, то виникнуть похибки форми на її циліндричних поверхнях.

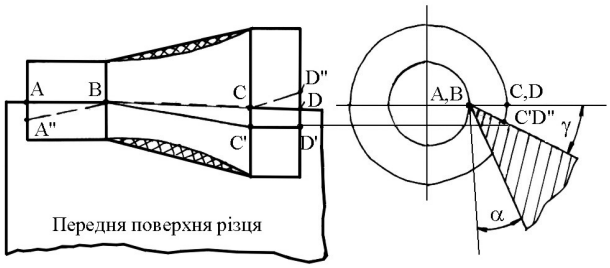


Рис. 5.2. Схема утворення систематичної похибки при точінні конічної поверхні радіальними різцями

5.5.2. Похибки, що виникають внаслідок неточності, зношування та деформації верстатів

Похибки виготовлення та складання верстатів обмежуються нормами державних стандартів, які визначають допуски і методи перевірки геометричної точності верстатів, тобто точності верстатів у ненавантаженому стані. Дані про точність верстатів наведені у паспортах на них.

Похибки геометричної точності верстатів повністю або частково переносяться на оброблювані заготовки. Похибка обробки виникає внаслідок відхилення фактичної траєкторії переміщення різального інструменту відносно оброблюваної поверхні від траєкторії, передбаченої кінематичною схемою при виготовленні. На нових верстатах похибка, що пов'язана з їх геометричною точністю, порівняно мала, але при спрацюванні елементів верстата похибка значно збільшується.

Геометричні неточності верстата викликають сталу систематичну похибку форми і взаємного розташування поверхонь оброблюваних заготовок. Величина цих систематичних похибок піддається попередньому аналізу і підрахунку.

Приклади

1. При непаралельності осі шпинделя токарного верстата напрямку руху супорта у горизонтальній площині циліндрична поверхня оброблюваної заготовки, закріпленої в патроні верстата, перетворюється в конічну (рис. 5.3, *а*). При цьому зміна радіуса *r* заготовки дорівнює відхиленню а осі від паралельності по відношенню до напрямних на довжині заготовки, тобто:

$$r_{max} = r + a.$$

При непаралельності осі шпинделя відносно напрямних у вертикальній площині оброблювана поверхня набуває форми гіперболоїда обертання (рис. 5.3, *б*), найбільший радіус якого:

$$r_{\max} = \sqrt{r^2 + в^2},$$

де *в* – відхилення осі шпинделя від паралельності по відношенню до напрямних верстата L оброблюваної заготовки.

2. Биття шпинделів токарних і круглошліфувальних верстатів, що викликається овальністю підшипників та опорних шийок шпинделів, викривлює форму обробленої

заготовки у поперечному перерізі. Овальність шийок шпинделів в цьому випадку переноситься на заготовку, оскільки при її обробці шийки шпинделів весь час притискаються до певних ділянок поверхонь підшипників.

3. Биття передніх центрів токарних і круглошліфувальних верстатів при правильному положенні осі шпинделя викликають перекошення осі оброблюваної поверхні при збереженні правильного кола у поперечному перерізі заготовки.

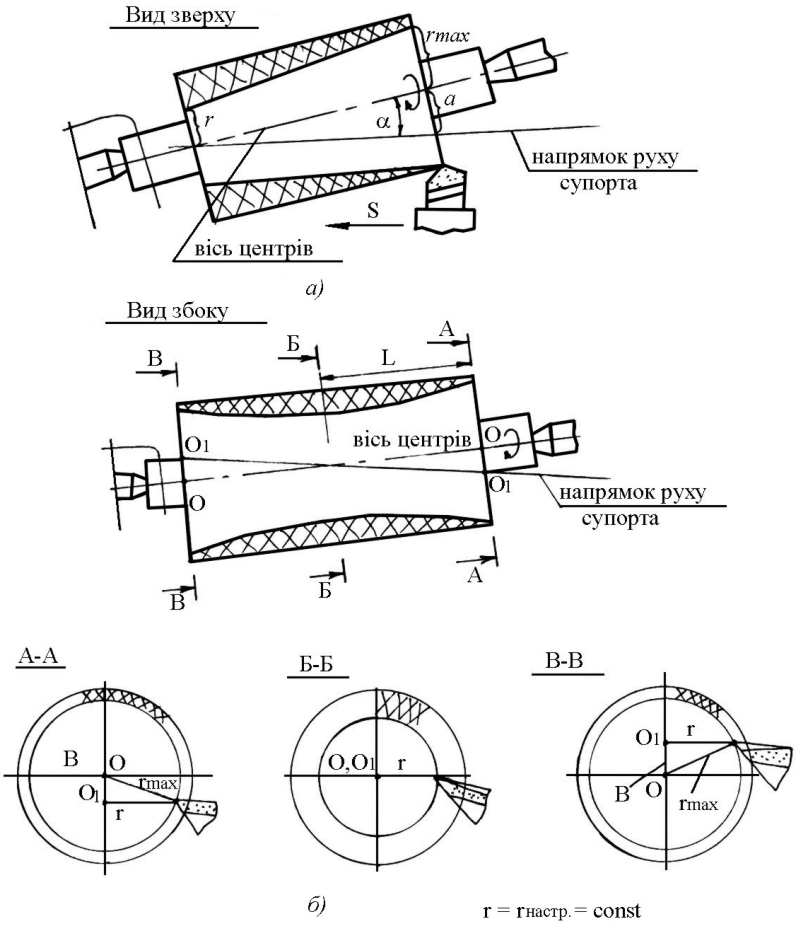


Рис. 5.3. Похибки форми при обточуванні циліндричних заготовок

Причинами биття переднього центра в цьому випадку можуть бути: биття осі конічного отвору шпинделя; биття осі переднього центра по відношенню до осі його хвостовика; неточність посадки переднього центра в конічному отворі шпинделя.

На рис. 5.4, *а* показано, що при битті переднього центра центрова лінія в процесі обробки описує конус з вершиною біля заднього центра. Основа цього конуса дорівнює биттю переднього центра, а віссю конуса є вісь обертання шпинделя верстата. В результаті обточування у поперечному перерізі заготовки (переріз *А–А*)

виходить правильне коло заданого радіуса (оскільки обертання заготовки відбувається навколо правильно розташованої і постійної осі обертання ОО шпинделя), але слід центрової лінії, що з'єднує центрові отвори заготовки, опиняється зміщеним від центра перерізу на відстань *е*. Після обробки заготовка набуває форми циліндра, вісь якого нахилена по відношенню до лінії центрових отворів на кут α. При цьому:

$$sin\alpha = e/L,$$

де L – довжина заготовки;

e – ексцентриситет переднього центра.

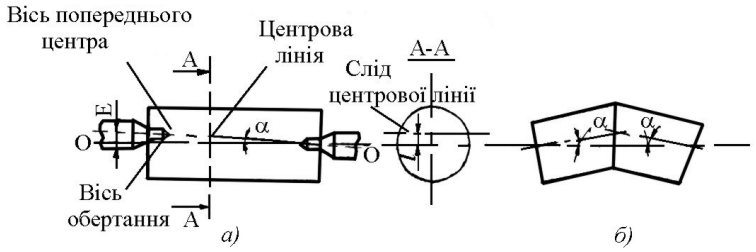


Рис. 5.4. Вплив биття переднього центра на точність обробки: а – похибка при обточуванні за одне встановлення; б – похибка при обточуванні з перевстановленням заготовки

У окремих випадках при обточуванні за два встановлення оброблена заготовка має дві осі з найбільшим кутом перетину осей, рівним 2α (рис. 5.4, *б*).

4. Зношування напрямних призводить до зміни положення окремих вузлів верстата, що викликає додаткові похибки оброблюваних заготовок. Нерівномірне зношування передньої та задньої напрямних токарного верстата викликає нахил супорта і зміщення вершини різця у горизонтальній площині, що безпосередньо збільшує радіус оброблюваної поверхні. Нерівномірність зношування напрямних по їх довжині призводить до появи систематичної похибки форми оброблюваної заготовки.

5. Відхилення від перпендикулярності шпинделя вертикально-фрезерного верстата до поверхні стола у поздовжньому напрямку викликає ввігнутість поверхні (рис. 5.5) [2].

З рисунка 5.5 вид збоку: з ΔCDE: $\Delta в = CE = CD \cdot sin\alpha$; вид А: з ΔOC'C: $OC = \sqrt{R_ф^2 - \frac{B^2}{4}}$; $CD = R_ф - \sqrt{R_ф^2 - \frac{B^2}{4}}$.

Тоді:

$$\Delta в = \left(R_ф - \sqrt{R_ф^2 - \frac{B^2}{4}} \right) \cdot sin\alpha ,$$

де $\Delta в$ – величина ввігнутості поверхні.

Неперпендикулярність осі шпинделя вертикально-фрезерного верстата відносно площини його стола поперечному напрямку викликає непаралельність оброблюваної площини по відношенню до установчої, яка за величиною дорівнює лінійному відхиленню від перпендикулярності на ширині заготовки.

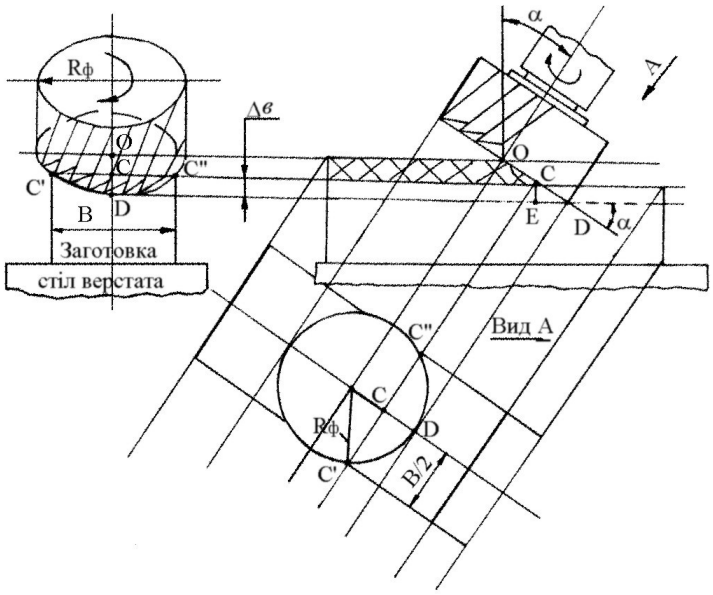


Рис. 5.5. Вплив відхилення від перпендикулярності шпинделя вертикально-фрезерного верстата на форму оброблюваної поверхні

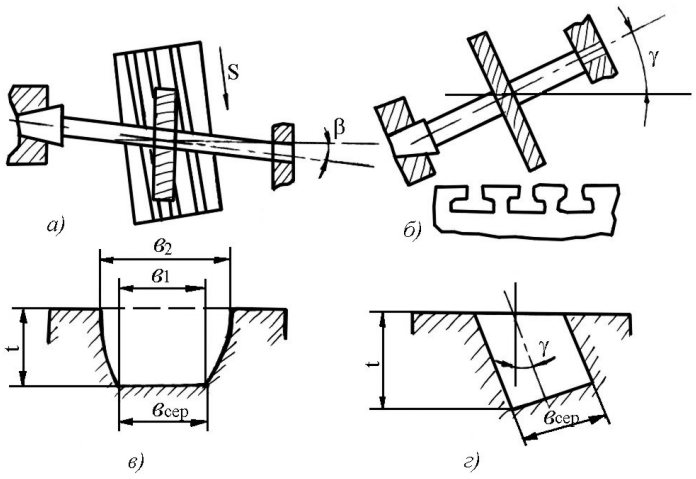


Рис. 5.6. Вплив геометрії похибок при фрезеруванні прямокутних пазів

6. Відхилення β від перпендикулярності осі обертання фрези до пазів стола (рис. 5.6, *а*) і відхилення γ від паралельності осі обертання фрези робочій поверхні стола (рис. 5.6, *б*) викликають відповідно збільшення ширини паза (рис. 5.6, *в*) і його поворот (рис. 5.6, *г*).

При одночасній дії похибок β і γ збільшення ширини паза в його верхній частині, враховуючи малі значення кутів β і γ, для практичних цілей можна визначити за спрощеною залежністю:[2]:

$$\Delta в = 2\,sin\sqrt{t\left(D_ф - t\right)},$$

де $D_ф$ – діаметр фрези;

t– глибина паза.

7. Відхилення від перпендикулярності напрямних шпиндельної бабки відносно стола вертикально-свердлильного верстата проявляється у вигляді відхилення від перпендикулярності обробленого отвору відносно бази (рис. 5.7).

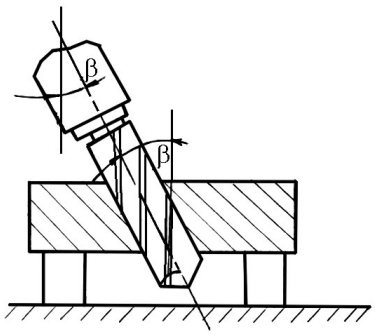


Рис. 5.7. Вплив геометричної неточності вертикально-свердлильного верстата на точність розташування оброблювального отвору

Похибка від геометричної неточності верстата може бути визначена також за довідником [4, с 53–70].

5.5.3. Похибки від розмірного зношування різального інструменту

У процесі механічної обробки різальний інструмент піддається зношуванню. З точки зору впливу зношування на точність обробки необхідно розглядати так зване розмірне зношування, яке вимірюється у напрямку нормалі до обролюваної поверхні.

При значних розмірах заготовки зношування впливає на геометричну форму (рис. 5.8, *а*), а також розташування (рис. 5.8, *б*) оброблюваної поверхні. При обробці заготовок невеликих розмірів зношування позначається на зміні розмірів послідовно оброблюваних заготовок.

Зношування інструмента у залежності від шляху різання характеризується кривою, наведеною на рис. 5.9.

Процес зношування можна поділити на три періоди: перший період (відрізок I) короткочасний і характеризується активним зношуванням у зв'язку з припрацюванням інструменту; другий період (відрізок II) – це нормальне зношування інструмента, коли спостерігається приблизно лінійна залежність зношування від шляху різання; третій період (відрізок III) характеризується різким зростанням зношування, за яким наступає невдовзі руйнування різальної кромки. Зношування інструмента по закінченню другого періоду називають гранично допустимим зношуванням $i_{гр}$.

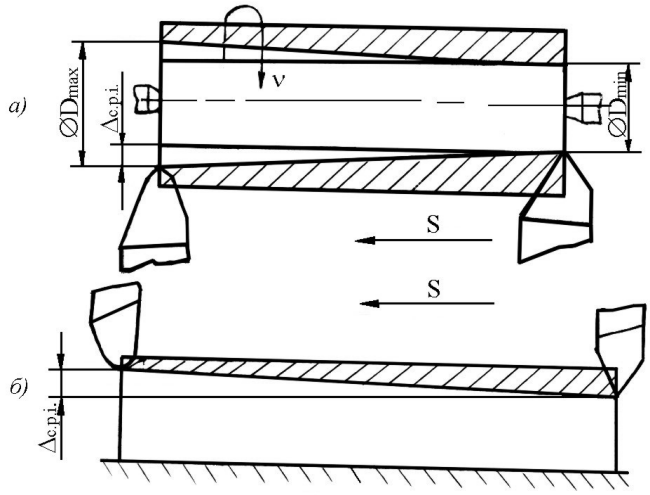


Рис. 5.8. Вплив спрацювання різального інструменту на точність обробки при точінні (а) та струганні (б)

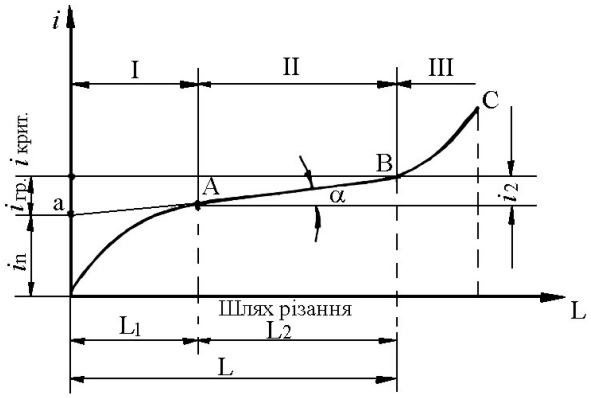


Рис. 5.9. Зношування різального інструменту

На другій (основній) ділянці кривої розмірного зношування його інтенсивність характеризується значенням тангенса кута нахилу кривої до осі абсцис, який називається відносним (питомим) зношуванням i_o:

$$i_o = tq\alpha = \frac{i_2}{L_2},$$

де i_2 – розмірне зношування за другий період роботи інструмента;

L_2 – шлях різання, що відповідає другому періоду роботи інструмента.

Відносне зношування звичайно приймають на 1000 м шляху різання і виражають

в мкм/км.

В період припрацювання залежність зношування від шляху різання виражається степеневою функцією. Для спрощення розрахунків розмірного зношування криву на цій ділянці замінюють прямою аА, яка є продовженням прямої АВ що характеризує період нормального зношування; лінія аА відсікає від осі ординат величину i_n, яка характеризує зношування за період припрацювання. Величина i_n називається початковим зношуванням і виражається в мікрометрах.

Отже, для конкретних умов обробки за даними i_o та i_n можна розрахувати розмірне зношування Δ_i в мікрометрах на довжині шляху різання:

$$\Delta i = i_n + i_o \frac{L}{1000},$$

де L– шлях різання, м.

Величину початкового і відносного зношування для деяких випадків наведено в табл. 12.18, 12.19 [2].

Величину i_n можна врахувати збільшенням шляху різання на 1000 м у попередній формулі:

$$\Delta i = i_o(L + 1000)/1000.$$

Похибка, викликана розмірним зношуванням фрез, може бути визначена за довідником [4, с. 73–74].

У зв'язку з переривчастим характером процесу фрезерування інтенсивність зношування більша ніж при точінні і визначається за формулою:

$$i_{o.фр} = \left(1 + \frac{100}{B}\right) i_o ,$$

де В – ширина фрезерування, мм;

i_o – інтенсивність зношування, мкм/км.

Для твердосплавних фрез значення i_o вибирають за [4, табл. 28], для швидкорізальних фрез i_o = 15...20 мкм/км.

Шлях різання при точінні однієї заготовки визначають за формулою:

$$\ell_3 = \frac{\pi dL}{1000S} .$$

Довжина шляху різання при торцевому фрезеруванні партії заготовок дорівнює:

$$\ell_{т.фр} = \frac{LBN}{S_n \cdot 10^6} ,$$

а при фрезеруванні циліндричними фрезами:

$$\ell_{ц.фр} = \frac{\pi D_{фр} LN}{S_n \cdot 10^6},$$

де L і *B* – довжина і ширина оброблюваної поверхні, мм,

S_n– поздовжня подача інструмента або заготовки, мм/об,

N – число деталей в оброблюваній партії, шт.

Різальний інструмент поділяється на такий, що допускає коригування налагоджувального розміру (різці, фрези, шліфувальні круги, регульовані розвертки), тобто дозволяє компенсувати вплив розмірного зношування на точність обробки, і такий, що не дозволяє цього робити (це – профільні інструменти).

При обробці заготовок методом пробних робочих ходів, розмірне зношування враховується при настроюванні на розмір.

При обробці заготовок на налагоджених верстатах компенсація розмірного зношування може відбуватись автоматичними підналадчиками.

Приклад

Після якого числа оброблених заготовок необхідно замінити зенкер з пластинками із твердого сплаву Т15К10 внаслідок його зношування при обробці отворів d = 40Н10, довжиною L = 60 мм у заготовках із легованої сталі $\sigma_в$ = 1100 МПа. Допустиме зношування зенкера не повинно перевищувати 0,4Td, подача при зенкеруванні S = 0,8 мм/об. (Розрахунок зробити без врахування розбиття отвору).

Розв'язання

Похибку обробки, що викликається зношуванням інструмента, визначимо використовуючи рівняння:

$$\Delta_i = i_n + i_o \frac{\pi d L N}{10^6 S}.$$

Приймаючи для спрощення $i_n = i_o$ одержимо:

$$\Delta_i = i_o \left(1 + \frac{\pi d L N}{10^6 S}\right),$$

де i_n – початкове зношування, мкм/км;

i_o– інтенсивність зношування, мкм/км;

d і L – відповідно діаметр і довжина обробки, мм;

N – число оброблених поверхонь, шт.;

S – подача інструменту, мм/об.

Згідно з [4, с. 74] для заданих умов i_o= 12 мкм/км, $i_n = i_o$ = 12 мкм/км (що відповідає 1000 м шляху різання). Враховуючи, що IT10 = 0,1 мм, а допустиме зношування не повинно перевищувати 0,4 його величини, то допустиме зношування кожного із протилежних зубів зенкера не повинно перевищувати $\Delta_i = 0{,}1 \cdot 0{,}4/2 = 0{,}02$ мм.

Із рівняння для Δ_i одержимо:

$$N = \frac{(\Delta_i - i_o) S \cdot 10^6}{i_o \pi d L} = \frac{(0{,}02 - 0{,}012)0{,}8 \cdot 10^6}{0{,}012\ \pi \cdot 40 \cdot 60} = 70{,}6,$$

тобто заміну зенкера необхідно виконувати після обробки 70-ти заготовок.

Основними шляхами скорочення впливу розмірного зношування на точність обробки є:

- покращення стабільності якості виготовлення інструмента;
- підвищення доводки його різальних кромок для скорочення величини початкового розмірного зношування;
- стабілізація сил різання;
- скорочення вібрацій в технологічній системі;
- вибір найбільш економічних режимів обробки;
- своєчасна зміна інструмента для його переточування;
- правильний вибір і застосування мастильно-охолоджувальної рідини (МОР);
- своєчасна компенсація розмірного спрацювання шляхом піднастроювання

технологічної системи.

5.5.4. Вплив зусилля затискання заготовки на похибку обробки

Ці зусилля викликають пружні деформації заготовок, що породжує похибки форми оброблюваних заготовок.

При закріпленні тонкостінного кільця у патроні відбувається його пружна деформація, воно набуває форми, яка показана на рис. 5.10, *а*. Після розточування отвору оброблена поверхня зберігає правильну форму до розтискання заготовок (рис. 5.10, *б*). Після зняття заготовки з патрона форма зовнішньої поверхні кільця пружно відновлюється, а оброблена внутрішня поверхня викривлюється (рис. 5.10, *в*). похибка форми цієї поверхні визначається різницею діаметрів вписаного і описаного кіл

$$\Delta_ф = d_{max} - d_{min}.$$

Знаючи абсолютні значення прогину y_1 кільця в місцях контакту його з кулачками та його випучування y_2 між кулачками при закріпленні (табл. 5.1) [3], похибку форми можна представити у вигляді:

$$\Delta_ф = 2\left(|y_1| + |y_2|\right).$$

Непостійність сил затискання та зміни розмірів заготовок в межах встановлених допусків зумовлює зміни $\Delta_ф$ від $\Delta_{фmin}$ до $\Delta_{фmax}$ Величина $\Delta_ф$ складається з двох складових. Постійна складова визначається значенням $\Delta_{фmin}$ змінна складова – різницею ($\Delta_{фmax} - \Delta_{фmin}$). При пневматичних та гідравлічних затискних пристосуваннях відношення змінної складової до постійної невелика (менше 0,1). Тому в розрахунках точності можна приймати $\Delta_ф$ за постійну величину, яка визначається за номінальними значеннями затискної сили.

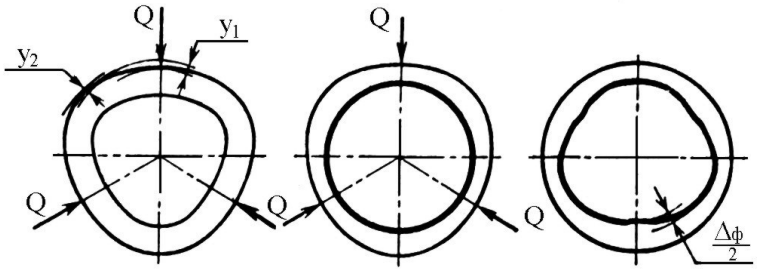


Рис. 5.10. Схема деформації кільця при закріпленні у трикулачковому патроні

Відносно великі деформації можуть виникати при закріпленні тонкостінних нежорстких заготовок (кілець, гільз, труб, корпусних та інших деталей).

Так, наприклад, при затисканні у трикулачковому патроні втулки 80×70×20 мм зусиллям затискання на рукоятці Q= 147Н похибка форми отвору досягає 0,08 мм. Ці деформації знижують працездатність деталей в машинах. Некруглість кілець може знизити довговічність підшипників кочення в декілька разів. Для їх зменшення (що важливо на викінчувальних операціях обробки) необхідно

правильно вибирати схему встановлення та закріплення заготовок. Для зменшення прогину стінок корпусних деталей, важелів тощо необхідно прагнути до того, щоб затискні сили були прикладені напроти установчих елементів пристроїв. В деяких випадках для зменшення деформації оброблюваних заготовок при закріпленні застосовують пристрої спеціального типу.

Величина похибки також залежить від кількості кулачків та від того, наскільки їх форма (форма їх затискної поверхні) наближається до форми деталі. Чим більше кулачків і чим більше їх затискна поверхня відповідає формі деталі, тим похибка буде меншою.

Таблиця 5.1 [3]

Прогини та випинання тонкостінних кілець при закріпленні в патронах

Схема закріплення у патроні	Прогин кільця y_1	Випинання кільця y_2	Похибка форми $\Delta_ф$
У трикулачковому патроні	0,016C	-0,014C	0,06C
У чотирикулачковому патроні	0,006C	-0,005C	0,023C
У шестикулачковому патроні	0,0017C	-0,0016C	0,006C

$$C = \frac{QR^3}{EI},$$

де Q – сила затискання на кулачку;

R – радіус кола, що проходить через нейтральну вісь поперечного перерізу кільця;

E – модуль поздовжньої пружності матеріалу кільця, кгс/мм^2;

I – момент інерції поперечного перерізу кільця, мм^4.

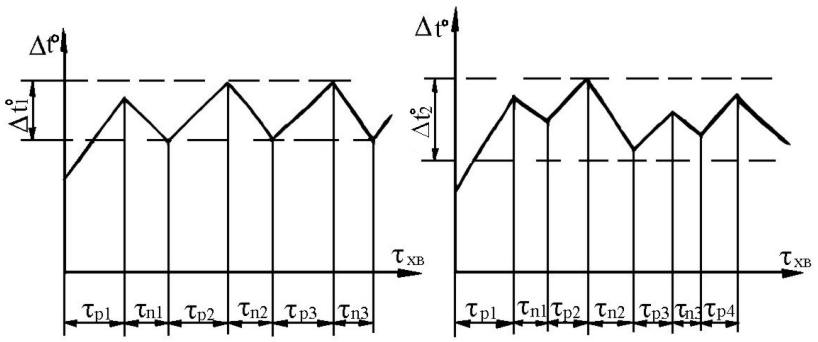
5.5.5. Похибки від теплових деформацій технологічної системи

Зміни положення інструменту відносно оброблюваної заготовки, що виникають у процесі нагрівання або охолодження технологічної системи, називаються похибкою обробки від теплових деформацій системи.

У процесі обробки заготовок елементи технологічної системи нагріваються. Джерелом теплоти, що породжує зміну температури ланок системи, є робота пластичних деформацій різання, робота тертя в механізмах системи, електро- і гідроприводи, зовнішні джерела теплоти у вигляді навколишнього повітря, розташованих поблизу верстатів, нагрівальних пристроїв тощо.

Верстат та інструмент звичайно періодично перебувають у процесі різання, на холостому ходу або в стані повної чи часткової зупинки, тому тепловий режим системи безперервно змінюється. При цьому змінюється і положення різального інструмента відносно оброблюваної заготовки, що, у свою чергу, відбувається на її розмірах і формі.

Одним із основних факторів, які породжують коливання температури, є тривалість часу роботи системи $\tau_р$ і часу перерв $\tau_п$. В результаті зміни температурного режиму системи виникають температурні деформації її елементів, внаслідок чого виникає похибка обробки Δ_t°, величина якої може виходити за межі 7–8-го квалітетів (рис. 5.11).



$\tau_{p1} = \tau_{p2} = \tau_{p3} = \tau_{p4} = ... = \tau_{pi}$ $\qquad$ $\tau_{p1} \neq \tau_{p2} \neq \tau_{p3} \neq \tau_{p4} \neq ... \neq \tau_{pi}$

$\tau_{n1} = \tau_{n2} = \tau_{n3} = \tau_{n4} = ... = \tau_{ni}$ $\qquad$ $\tau_{n1} \neq \tau_{n2} \neq \tau_{n3} \neq \tau_{n4} \neq ... \neq \tau_{ni}$

Рис. 5.11. Теплові похибки обробки при рівномірному (а) і нерівномірному (б) режимах роботи технологічної системи

Різальний інструмент за 15–25 хв нагрівається до температури 800–1000 °С і вище (рис. 5.12, крива 2). На початку різання різець швидко видовжується, потім настає теплова рівновага і видовження різця закінчується (рис. 5.12, крива 1).

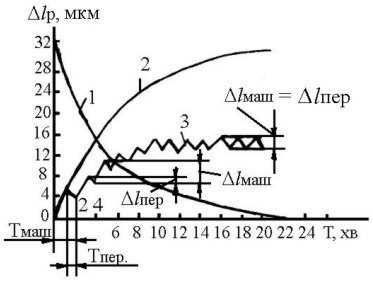


Рис. 5.12. Вплив перерв роботи різця на його теплові деформації: 1 – охолодження різця; 2 – нагрівання різця при безперервній роботі; 3 – робота в умовах різання з перервами; $\Delta l_{маш.}$ – продовження різця за машинний час; $\Delta l_{пер.}$ – зменшення довжини різця при охолодженні за час перерви

Видовження різця з пластиною із твердого сплаву Т15К6 при сталій тепловій рівновазі при $t < 1{,}5$ мм, $S < 0{,}2$ мм/об, $\nu = 100–200$ м/хв можна визначати за емпіричною формулою [2]:

$$\Delta\ell_{\text{Т}} = 0{,}45\frac{\text{L}_{\text{р}}}{\text{F}}\sigma_{\text{в}}\left(\text{tS}_{\text{o}}\right)^{0{,}75}\nu^{0{,}5},$$

де $L_р$ – виліт різця, мм;

F – площа поперечного перерізу різця мм^2;

$\sigma_в$– тимчасовий опір матеріалу заготовки, МПа;

t – глибина різання, мм;

S_o– подача, мм/об;

ν – швидкість різання, м/хв.

Видовження різця, що відповідає будь-якому моменту часу від початку роботи, визначають за формулою [2]:

$$\Delta L = \Delta \ell_T \left(1 - e^{-0,25\tau}\right).$$

Якщо різання ведеться з перервами, то в залежності від тривалості перерви різець охолоджується частково або повністю. При такій роботі видовження $\Delta \ell_n$ різця в момент настання теплової рівноваги буде меншим, ніж при безперервній його роботі і його можна визначити за формулою [2]:

$$\Delta \ell_n = \Delta \ell_T \frac{\tau_o}{\tau_o + \tau_n},$$

де τ_o, τ_n– відповідно час роботи і час перерви в роботі різця.

Похибки, які викликаються деформаціями різального інструмента, можна практично виключити, якщо в зону різання подавати велику кількість охолоджуючої рідини.

Теплові деформації верстатів протікають порівняно повільно (1–4 години) причому їх частини нагріваються до відносно невисоких температур (приблизно 60°). Теплові деформації верстата мають найбільше значення в початковий період роботи. Після деякого часу вони стабілізуються (рис. 5.13). Наприклад, на безцентрово-шліфувальних верстатах теплові деформації призводять до зміщення шліфувального круга в бік заготовки на відстань до 0,12 мм, що значно перевищує точність 7-го квалітету (0,01–0,04 мм), за яким ведеться обробка заготовок на цьому верстаті.

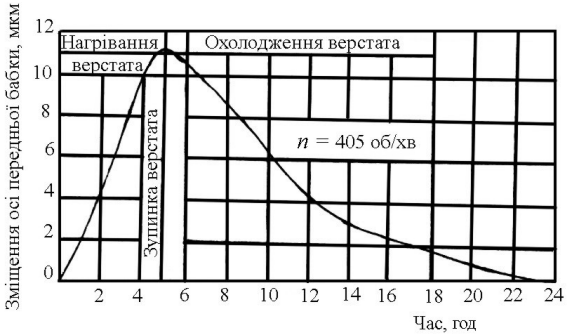


Рис. 5.13. Горизонтальне зміщення осі передньої бабки токарного верстата від його нагрівання при роботі в центрах

Значні деформації (а тому й похибки) від дії теплового фактора можливі у оброблюваних заготовок, особливо при односторонній обробці довгих заготовок або при виготовленні тонкостінних деталей.

При рівномірному нагріванні змінюються тільки розміри заготовки, геометрична ж форма залишається незмінною. При нерівномірному нагріванні заготовки змінюються як її розміри, так і геометрична форма.

При зовнішній обробці в заготовки переходить до 10 % теплоти, основна кількість виноситься стружкою. Під час обробки отворів до 50 % теплоти

залишається у заготовці. Наприклад, після свердління отвору ∅20 мм у чавунній втулці після охолодження заготовки спостерігається зменшення діаметра отвору на 0,02 мм, що відповідає відхиленню за 7-м квалітетом. Отже, якщо після свердління відразу виконати розвертання, то після охолодження розмір буде менший за потрібний.

Стрілу прогину Δ деталей типу плита, станина тощо від теплових деформацій можна визначити за формулою [2]:

$$\Delta = \frac{\alpha L^2 \Delta t^0}{8H},$$

де α – коефіцієнт теплового розширення;

L, H – відповідно довжина і висота заготовки;

Δt– перепад температур.

Необхідно зазначити, що теплові деформації системи впливають на точність при роботі на налагоджених верстатах (метод автоматичного одержання розмірів). При роботі за промірюваннями (метод пробних проходів і вимірювань) і з використанням засобів активного контролю теплові деформації компенсуються підналагодженням системи при обробці кожної заготовки.

Основними заходами для зменшення температурних деформацій є:

– застосування штучного охолодження з продуктивністю (л/хв), рівною 5–10-кратній потужності головного приводу верстата, кВт;

– збільшення швидкості різання при обробці металевим інструментом, завдяки чому більша частка тепла відводиться в стружку;

– шліфування деталей кругами великих діаметрів;

– закріплення оброблюваних заготовок з можливістю компенсації їх лінійних деформацій, наприклад, з використанням пружинних, гідравлічних або пневматичних задніх центрів на шліфувальних, багаторізцевих та інших верстатах;

– одностороннє жорстке закріплення довгих заготовок, з тим, щоб другий кінець міг переміщатись при подовженні через нагрівання;

– введення різного роду коректуючих пристосувань для компенсації температурних деформацій, а також штучної деформації заготовок при встановленні та закріпленні їх у напрямку, протилежному температурній деформації, в цілях її компенсації;

– правильне настроювання технологічної системи із врахуванням величини температурних деформацій та їх розташування у полі допуску.

5.5.6. Похибка обробки від внутрішніх напруг у матеріалі оброблюваної заготовки

Заготовки, з яких виготовляють деталі машин, завжди перебувають під дією внутрішніх напруг. Внутрішніми напругами (залишковими або власними) називають напруги, які існують в матеріалі заготовки або готової деталі за відсутності зовнішніх навантажень. Внутрішні напруги виникають або внаслідок нерівномірного нагрівання та остигання, або внаслідок дії механічних навантажень, що перевищують межу пластичності матеріалу.

Внутрішні напруги можуть виникати або в усьому об’ємі заготовки чи більшої її частини (напруги першого роду), або в мікроскопічних і ультрамікроскопічних зонах (напруги другого і третього роду).

Як правило, внутрішні напруги після зняття із заготовок чи деталей дії температур або механічних навантажень врівноважуються із зовні нічим не проявляються доти, поки ця рівновага не буде в якийсь спосіб порушена, наприклад, внаслідок зняття шару матеріалу в процесі механічної обробки, обробкою без зняття стружки, термічною або хімічною дією. Порушення стану рівноваги внутрішніх напруг призводить до їх перерозподілу і далі до деформації деталі, поки не настане новий врівноважений стан. Відбувається так зване жолоблення заготовки, яке призводить до викривлення осей або поверхонь, а також зміни стану поверхневого шару.

Найбільші внутрішні напруги виникають у литих заготовках внаслідок їх нерівномірного остигання, нерівномірного розподілу матеріалу, різної відстані від тепловідвідних поверхневих ділянок тощо. Ці напруги інколи такі великі (особливо у складних корпусних деталях), що у вихідній заготовці після остигання утворюються тріщини. Причиною внутрішніх напруг може бути також термічна обробка деталей і пов'язане з нею нерівномірне нагрівання та остигання.

Визначити кількісно величину похибки від внутрішніх напруг у кожному конкретному випадку неможливо. Тому для виключення похибок від цих напруг треба прагнути до того, щоб при механічній обробці їх усунути. Це досягається тим, що деталі після чорнових операцій піддаються природному або штучному старінню. Усунення напруг, які при природному старінні зменшуються поступово (спочатку скоріше, а потім повільніше), можна прискорити, піддаючи деталі ударам з різною частотою або вібраціям.

Нагріванням усуваються також внутрішні напруги у зварених заготовках і деталях, що піддавались термічній або пластичній обробці чи правці.

Чим точніша деталь, тим довший і дбайливійший повинен бути процес її старіння для повного усунення можливих похибок від внутрішніх напруг. При цьому враховуються також можливі похибки від внутрішніх напруг, що виникають у поверхневих шарах деталі під дією сил різання.

5.5.7. Похибки від пружних деформацій технологічної системи

Поняття про жорсткість та піддатливість технологічної системи

Технологічна система верстат – пристрій – інструмент – деталь представляє собою систему (рис. 5.14), деформації якої в процесі обробки обумовлюють виникнення систематичних та випадкових похибок розмірів і геометричної форми оброблюваних заготовок. Разом з тим, ця технологічна система є замкненою динамічною системою, здатною до збудження та підтримання вібрацій, що породжують похибки форми оброблюваних поверхонь (некруглість, хвилястість) і збільшують їх шорсткість.

При обробці в центрах на токарному верстаті гладкого вала (рис. 5.15) у початковий момент, біля різець знаходиться у правого кінця вала, вся нормальна складова P_y зусилля різання передається через заготовку на задній центр, піноль і задню бабку верстата, викликаючи пружну деформацію названих елементів (згинання заднього центра і пінолі, відтискання $y_{з.б}$ корпусу задньої бабки) в напрямку "від робітника". Це призводить до збільшення відстані від вершини різця до осі обертання заготовки на величину $y_{з.б}$ і до відповідного збільшення радіуса

оброблюваної заготовки.

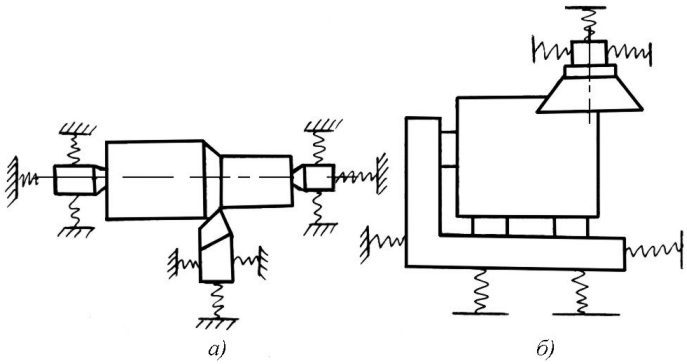


Рис. 5.14. Спрощені моделі токарної (а) і фрезерної (б) пружних технологічних систем

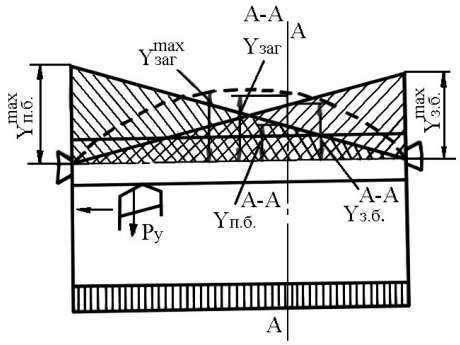


Рис. 5.15. Пружні відтискання технологічної системи

Одночасно з цим під дією P_y відбувається пружне відтискання $y_{інстр.}$ різця і супорта в напрямку "на робітника", що у свою чергу, тягне за собою збільшення відстані від вершини різця до осі обертання заготовки, а отже, і радіуса обробленого виробу. Таким чином, у початковий момент діаметр обробленої поверхні фактично виявляється більшим за діаметр, встановлений при настроюванні, на величину $\Delta = 2(y_{з.б} + y_{інстр.})$. При подальшому обточуванні та переміщенні різця від задньої бабки до передньої відтискання задньої бабки зменшується, але виникає відтискання передньої бабки $y_{п.б}$ і оброблюваної заготовки $y_{заг.}$, які також збільшують фактичний діаметр обробки (рис. 5.15). В деякому перерізі А–А фактичний діаметр оброблюваної заготовки виявляється рівним [5]:

$$D_{факт}^{A-A} = D_{настр.}^{A-A} + 2\left(y_{з.б}^{A-A} + y_{п.б}^{A-A} + y_{інстр.}^{A-A} + y_{заг}^{A-A}\right),$$

де $D_{настр}^{A-A}$ –настроювальний діаметр.

У зв'язку з тим, що пружні відтискання елементів верстата (крім відтискання $y_{інстр.}$ супорта та інструмента) змінюються по довжині оброблюваної заготовки, її

діаметр, а отже, і форма виявляються змінними по довжині. Похибка розміру і форми заготовки у даному випадку дорівнюють подвоєній сумі пружних відтискань в технологічній системі. Пружні відтискання у визначаються діючими у напрямку цих відтискань зусиллями і жорсткістю технологічної системи.

Жорсткістю j *технологічної системи* називається здатність цієї системи чинити опір дії деформуючих її сил.

Якщо жорсткість елементів верстата дуже велика, а жорсткість оброблюваної заготовки мала (обточування довгого і тонкого вала на масивному верстаті), то відтискання $y_{п.б}$ і $y_{з.б.}$ малі, а $y_{заг.}$ значне. В результаті цього форма заготовки стає бочкоподібною. Навпаки, при обробці масивної заготовки, яка дає мінімальний прогин, на верстаті малої жорсткості ($y_{п.б}$ і $y_{з.б}$ значні) форма заготовки виявляється корсетоподібною з найменшим діаметром біля середині заготовки.

Для обчислення похибок обробки, пов'язаних з пружними відтисканнями технологічної системи, жорсткість цієї системи повинна мати кількісний вираз. Соколовським А.П. запропоновано виражати жорсткість j, кН/м, технологічної системи відношенням нормальної складової P_y, кН, сили різання до сумарного зміщення у, м (мм), леза різального інструмента відносно оброблюваної поверхні заготовки, виміряного в напрямку нормалі до цієї поверхні, тобто:

$$j = \frac{P_y}{y}. \qquad (5.1)$$

Як випливає з вищесказаного [5]:

$$y = y_в + y_{пр} + y_{заг} + y_{інстр}.$$

При визначенні жорсткості переміщення завжди вимірюється в напрямку, перпендикулярному до оброблюваної поверхні, і в розрахунок вводиться нормальна складова зусилля P_y різання, проте при цьому одночасно враховується вплив на у і решти складових сили різання (P_z і P_x). Дослідження показали, що пружне зміщення у, розраховане тільки в умовах дії P_y, завжди більше (а отже, чисельне значення жорсткості системи менше), ніж при визначенні його із врахуванням одночасної дії складових P_z і P_x. У зв'язку з цим при експериментальному визначенні жорсткості технологічну систему необхідно навантажувати системою сил, близькою до експлуатаційної.

Жорсткість системи можна також обчислити з рівняння:

$$j = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}, \qquad (5.2)$$

де приріст нормальної сили ΔP_y і сумарного зміщення Δy виражаються у тих же одиницях, що і в формулі, наведеній вище.

При знаходженні жорсткості технологічної системи за значеннями жорсткості окремих її ланок, а також при розрахунку похибок обробки, пов'язаних з пружними відтисканнями окремих елементів системи, зручно користуватись поняттям піддатливості, яка чисельно дорівнює величині, оберненій жорсткості.

Піддатливістю ω технологічної системи називається здатність цієї системи пружно деформувати під дією зовнішніх сил.

Піддатливість ω, м/МН, можна чисельно виразити відношенням зміщення у леза інструмента відносно заготовки, виміряного по нормалі до оброблюваної поверхні, до складової сили різання, діючої в тому ж напрямку, тобто:

$$\omega = \frac{y}{P_y}. \qquad (5.3)$$

Як випливає із визначення:

$$\omega = \frac{1}{j}. \qquad (5.4)$$

Деформації технологічної системи складаються не тільки із власних деформацій $y_в$ деталей – ланок цієї системи, а й з контактних деформацій $y_к$ в місцях стикання з'єднуваних деталей внаслідок пружності стиків:

$$y_{ТС} = y_в + y_к;$$

$$y_к = y_з + y_с,$$

де $y_з$ – зазори з'єднань;

$y_с$– деформація стику.

Під власними деформаціями окремих деталей розуміють деформації розтягування, стискання, кручення та різні їх поєднання в межах пружності матеріалу, які виникають під дією прикладених до деталі сил.

Ці деформації можна визначити аналітичними або графічними методами опору матеріалів або теорії пружності для різних деталей, розглядаючи їх як балки, пластини, плити, оболонки тощо.

Контактні деформації виникають при прикладанні навантаження до будь-якої деталі з'єднання. Після вибірки зазору з'єднання (рис. 5.16, *а*) відбуваються місцеві пластичні деформації зминання (рис. 5.16, *б*), а потім пружні деформації мікронерівностей (рис. 5.16, *в*), після чого відбувається стискання деталей і виникають деформації стискання (тобто власні деформації) $y_в$.

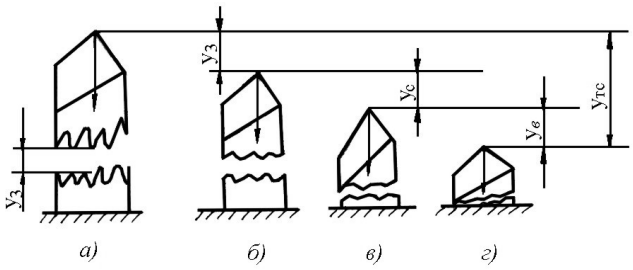


Рис. 5.16. Спрощена схема виникнення деформації ТС

Величина контактних деформацій залежить не тільки від пружних властивостей матеріалу, а й від точності виготовлення, шорсткості поверхонь, характеру з'єднання, наявності або відсутності мастила, його в'язкості, характеру навантаження тощо.

Контактні деформації верстатів досягають 50–90 % загальних деформацій системи.

Технологічна система представляє собою систему з послідовним з'єднанням складових ланок, при якій переміщення всієї системи в заданому напрямку дорівнюють алгебраїчній сумі переміщень її окремих елементів у цьому напрямку, виходячи з чого, піддатливість системи дорівнює сумі піддатливостей всіх її ланок [2]:

$$\omega_{ТС} = \omega_в + \omega_п + \omega_і + \omega_д,$$

де $\omega_в$, $\omega_п$, $\omega_і$, $\omega_д$ – піддатливості відповідно верстата, пристрою, інструменту і деталі,

мм/Н.

При обробці на токарних і токарно-револьверних верстатах деформаціями різця можна знехтувати, а піддатливість пристрою враховують при визначенні піддатливості верстата [2].

Тоді:

$$\omega_{ТС} = \omega_в + \omega_д. \tag{5.5}$$

Піддатливість верстата при встановленні заготовки в центрах і передачі моменту поводковим патроном визначають за формулою [2]:

$$\omega_в = \omega_{суп} + \omega_{п.б}\left(\frac{\ell - x}{\ell}\right)^2 + \omega_{з.б}\left(\frac{x}{\ell}\right)^2, \tag{5.6}$$

де $\omega_{суп}$, $\omega_{п.б}$, $\omega_{з.б}$ – піддатливості відповідно супорта, передньої та задньої бабок;

ℓ – довжина заготовки;

x – відстань від торця заготовки до місця прикладання сили P_y (рис. 5.17) [2].

$$y_{заг} = \frac{P_y x^2 \left(\ell - x^2\right)}{3EI} \tag{5.7}$$

прогин вала у перерізі прикладання різця на відстані x від передньої бабки, а піддатливість заготовки при довільному положенні різця (на відстані x) при обробці в центрах визначають за формулою:

$$\omega_д = \frac{1000}{3EI}\frac{\left(\ell - x\right)^2 x^2}{\ell}, \text{ мкм/Н}, \tag{5.8}$$

де E – модуль пружності, Н/мм;

I – момент інерції перерізу вала, мм^4.

Для суцільного вала:

$$I = 0{,}05d^4,$$

де d – діаметр гладкого вала або приведений діаметр ступінчастого вала, мм.

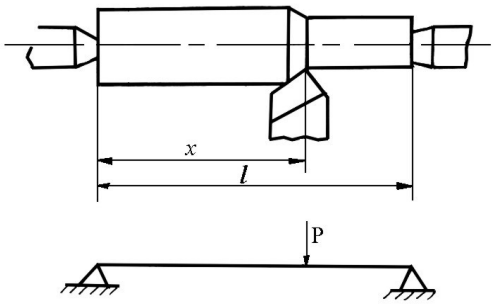


Рис. 5.17. До визначення піддатливості верстата при встановленні заготовки в центрах

Для вала з однобічним потовщенням [2]:

$$d = \frac{1}{\ell}\sum_{i=1}^{n} d_i \ell_i,$$

для вала з потовщенням посередині [2]:

$$d = \sqrt{\frac{1}{\ell}\sum_{i=1}^{n} d_i^2 \ell_i^2}\ ,$$

де ℓ – загальна довжина вала;

n – кількість ступенів вала;

d_i, ℓ_i – відповідно діаметр і довжина ступіні вала.

Після підставлення значень $\omega_в$ і $\omega_д$ у формулу (5.5) знаходять значення піддатливості системи [2]:

$$\omega_{ТС} = \omega_{суп} + \omega_{п.б}\left(\frac{\ell - x}{\ell}\right)^2 + \omega_{з.б}\left(\frac{x}{\ell}\right)^2 + \frac{1000\left(\ell - x^2\right)x^2}{3EI}. \qquad (5.9)$$

У середині вала, що обертається в центрах,:

$$y_{заг} = \frac{P_y \ell^3}{48EI};\ \ \omega_{заг} = \frac{\ell^3}{48EI}. \qquad (5.10)$$

Піддатливість системи при консольному закріпленні оброблюваних заготовок в патроні токарного верстата або цанзі револьверного верстата може бути визначена наступним чином [2]:

$$y_{заг} = \frac{P_y \ell^3}{3EI};\ \omega = \frac{\ell^3}{3EI}; \qquad (5.11)$$

$$\omega_{ТС} = \omega_{суп} + \omega_{п.б}\left(\frac{\ell_o + x}{\ell_o}\right)^2 + \frac{1000x^3}{3EI}, \qquad (5.12)$$

де $\omega_{п.б}$ – піддатливість передньої бабки (з патроном або цангою) біля кулачків патрона;

ℓ_0 – відстань від торця кулачків патрона (торця цанги) до середини переднього підшипника шпинделя, мм;

x – відстань від кулачків патрона до місця прикладання сили різання, мм.

Похибка Δ_j, яка виникає в результаті пружних деформацій ланок технологічної системи під дією сил різання, може бути визначена за формулою:

$$\Delta_j = \Delta P \omega_{ТС}. \qquad (5.13)$$

У зв'язку з більш жорсткою конструкцією піддатливість верстатів з ЧПК менша, ніж у аналогічних верстатів з ручним керуванням:

$$\omega_{вчпк} = 0{,}33\omega_{в.ручн.керув.}.$$

Вплив жорсткості та піддатливості технологічної системи на точність розмірів і форми оброблюваних заготовок

Вплив жорсткості та піддатливості системи на точність розмірів і форми оброблюваних заготовок можна з'ясувати на основі аналізу схеми обробки, наведеної на рис. 5.18.

При настроюванні верстата різець встановлюють в положення, при якому заготовка повинна оброблятись на деякий радіус $r_{теор}$ (рис. 5.18, *а*). Проте, в результаті пружного відтискання вузлів верстата $y_в$ і відтискання заготовки $y_{заг}$ вісь обертання заготовки зміщується з положення O_1 в положення O_3, що призводить до збільшення фактичної відстані вершини різця до осі обертання заготовки. Одночасно у зв'язку з прогином і відтисканням різця (рис. 5.18, *б*) відстань від вершини до центра обертання заготовки додатково збільшується на величину $y_{інстр}$.

Пружні відтискання в технологічній системі призводять до збільшення фактичного радіуса обточування заготовки ($r_{факт} = r_{теор} + y_в + y_{заг} + y_{інстр}$) при відповідному зменшенні фактичної глибини різання до величини [5]:

$$t_{факт} = t_{теор} - (y_в + y_{заг} + y_{інстр}). \qquad (5.14)$$

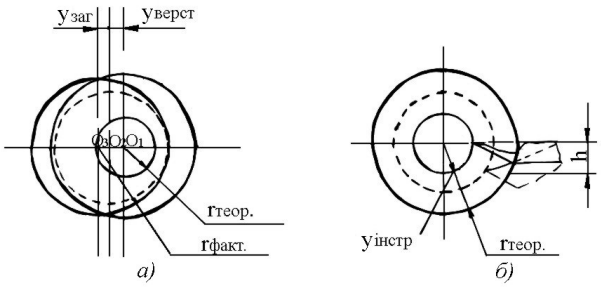


Рис. 5.18. Вплив пружних відтискань на розмір оброблювальної заготовки: а – зміщення осі заготовки із-за відтискань верстата і заготовки; б – зміщення вершини різця від центра заготовки у зв'язку з відтисканням і прогинанням різця

Загальне збільшення діаметра ΔD оброблюваної заготовки у порівнянні з його теоретичним значенням, встановленим при настроюванні верстата, дорівнює подвоєному приросту фактичного радіуса або подвоєному сумарному відтисканню технологічної системи, тобто [5]:

$$\Delta D = 2(r_{факт} - r_{теор}) = 2(y_в + y_{заг} + y_{інстр}) = 2y = \frac{2P_y}{j}.$$

Оскільки

$$P_y = C_y S^{y_p} t^{x_p} HB^n,$$

то

$$\Delta D = 2C_y S^{y_p} t^{x_p} HB^n \left(\frac{1}{j_в} + \frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{інстр}} \right). \qquad (5.15)$$

При постійній жорсткості технологічної системи по довжині обробки, незмінному режимі обробки і постійній твердості заготовки приріст діаметра у порівнянні з теоретичним його значенням зберігається однаковим по всій довжині заготовки і не викликає появи похибки її форми. Приріст діаметра залишається постійним для всіх заготовок партії (систематична похибка) і може бути врахованим при настроюванні верстата відповідним зменшенням настроювального розміру.

При обробці заготовок малої жорсткості (довгі та тонкі вали) їх жорсткість, а отже, і відтискання змінюється по довжині заготовки (див. формули (5.10) і (5.11)), що обумовлює появу систематичної похибки форми заготовки.

Затуплення різального інструмента в процесі обробки заготовки призводить до приросту розміру оброблюваної заготовки не тільки внаслідок розмірного зношування інструмента, але й у зв'язку зі значним зростанням нормальної складової P_y сили різання. Як показали дослідження, виникнення на задній поверхні інструмента ділянки зношування $h_з$ супроводжується збільшенням складової P_y на величину ΔP_y, пропорційну $h_з$ (рис. 5.19).

Коливання твердості оброблюваного матеріалу значно змінюють нормальну

складову P_y, при обробці сталі P_y знаходиться у квадратичній залежності від твердості за Бринелем. Важливо відмітити, що приріст нормальної складової ΔP_y при підвищенні твердості оброблюваного матеріалу суттєво залежить від номінального значення сили різання, а отже, і від режимів різання. Наприклад, при підвищенні твердості оброблюваного матеріалу на 30НВ приріст нормальної складової ΔP_y, Н, сили різання складає при точінні в залежності від подачі S, мм/об, вказаній зліва:

0,06 ……19,6
0,12…….68,5
0,20…….88,0

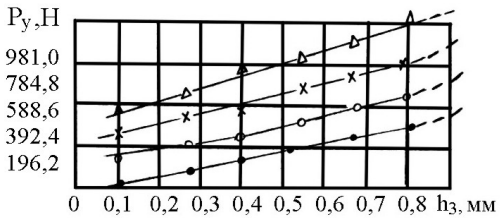


Рис. 5.19. Залежність P_y від ширини $h_з$ площадки зношування задньої поверхні різця при точінні сталі 2×13

Таким чином, при обробці заготовок різної твердості для зменшення коливань сили різання, а отже, і непостійності відтискань в технологічній системі, що в кінцевому результаті призводить до зниження похибки обробки, чистові проходи інструментів повинні проводитись зі зняттям мінімального перерізу стружки.

Практично вплив твердості оброблюваного матеріалу на точність обробки дуже великий, оскільки згідно з проведеними дослідами розсіяння твердості матеріалу іноді досягає 30–40 % від середнього значення твердості. Наприклад, твердість холоднотягнутих прутків зі сталі 2Х13 в межах одного прутка змінюється на 5–20 НВ, при цьому нерівномірність твердості спостерігається як у поздовжньому так, і в поперечному перерізах прутка. Коливання твердості матеріалу вказаних прутків в межах партії, поставленої одним заводом-постачальником, досягають 94НВ, а при загальній зміні твердості прутків – в межах від 116НВ до 210НВ, тобто на 80 %.

Твердість відливок, виготовлених з алюмінієвого сплаву під тиском, коливається в межах однієї плавки від 42НВ до 67НВ (на 59 %), а при різних плавках – від 42НВ до 77НВ (тобто на 83 %). Навіть в межах однієї виливки зі сплаву АЛ2 твердість змінюється від 67НВ до 77НВ, тобто на 15 %.

З формули (5.15) виходить, що коливання твердості оброблюваного матеріалу впливають на приріст діаметра заготовки.

При різній твердості окремих заготовок піддатливість технологічної системи породжує розсіювання розмірів оброблюваних заготовок, а при коливанні твердості в межах однієї заготовки викликає похибки геометричної форми деталей.

Коливання припуску на обробку заготовок, що пов’язані з похибками розмірів вихідної заготовки, при роботі на налагоджених верстатах змінюють глибину t різання і приріст ΔD (див. формулу (5.15)), що призводить до розсіювання розмірів деталі.

Похибки геометричної форми вихідної заготовки (рис. 5.20) обумовлюють появу одноіменних похибок форми оброблюваних заготовок. Похибка $\Delta_{в.заг}$ вихідної заготовки визначає приріст Δt глибини різання на окремих ділянках оброблюваної поверхні, а отже, і приріст ΔP_y нормальної складової сили різання і додаткове відтискання $\Delta y = \Delta P_y/j$ технологічної системи в перерізі найбільшого діаметра $D_{в.заг}$ вихідної заготовки, яке викликає відповідне збільшення діаметра $D_{обр.заг.}$ обробленої заготовки.

Похибка форми обробленої заготовки рівна:

$$\Delta_{обр.заг.} = D^{max}_{обр.заг.} - D^{min}_{обр.заг.} = 2\Delta_y .$$

Таким чином, похибка вихідної заготовки копіюється на обробленій заготовці у вигляді одноіменної похибки меншої величини (овальності вихідної заготовки відповідає овальність обробленої заготовки, конусності – конусність, биттю – биття і т.д.). Це явище називається технологічною спадковістю.

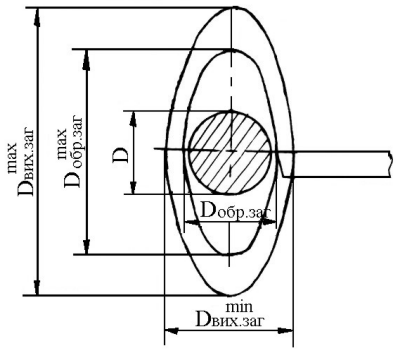


Рис. 5.20. Вплив похибки форми вихідної заготовки на похибку форми обробленої деталі

Відношення одноіменних похибок вихідної заготовки $\Delta_{в.заг.}$ і обробленої заготовки $\Delta_{обр.заг.}$ прийнято називати *уточненням* $K_{ТС}$ яке визначається за формулою [2]:

$$K_{ТС} = \frac{\Delta_{в.заг.}}{\Delta_{обр.заг.}} . \qquad (5.16)$$

Величина, обернена уточненню:

$$K_y = \frac{\Delta_{обр.заг.}}{\Delta_{в.заг.}} \qquad (5.17)$$

називається *коефіцієнтом зменшення похибок*.

У загальному випадку на основі формули (5.15) і співвідношення

$$\Delta_{заг.} = 2(t_{max} - t_{min})$$

можна записати:

$$K_{ТС} = \frac{\Delta_{в.заг.}}{\Delta_{обр.заг.}} = \frac{(t_{max} - t_{min})j}{\left(t^{x_p}_{max} - t^{x_p}_{min}\right) C_y S^{y_p} HB^n} . \qquad (5.18)$$

Прийнявши в окремому випадку значення показника $x_p = 1$, отримаємо приблизний вираз уточнення:

$$К_{ТС} = \frac{\Delta_{в.заг.}}{\Delta_{обр.заг.}} = \frac{j}{C_y S^{y_p} HB^n}, \qquad (5.19)$$

з якого випливає, що уточнення прямопропорційне жорсткості технологічної системи.

Після першого ходу інструменту

$$\Delta_{обр.заг.} = \frac{\Delta_{в.заг.}}{К_{ТС}} = \Delta_{в.заг.} К_y = \frac{\Delta_{в.заг.} C_y S^{y_p} HB^n}{j},$$

після другого ходу:

$$\Delta_{обр.заг.} = \frac{\Delta_{в.заг.}}{К_{ТС}^{\,2}} = \Delta_{в.заг.} К_y^2 = \frac{\Delta_{в.заг.} C_y S^{y_p} HB^n}{j^2},$$

після і-го ходу:

$$\Delta_{обр.заг.} = \frac{\Delta_{в.заг.}}{К_{ТС}^{\,i}} = \Delta_{в.заг.} К_y^n = \frac{\Delta_{в.заг.} C_y S^{y_p} HB^n}{j^n}. \qquad (5.20)$$

З формули (5.20) випливає, що після кожного ходу різця похибка заготовки зменшується обернено пропорційно уточненню та жорсткості технологічної системи і прямопропорційно коефіцієнту зменшення похибок.

У зв'язку з тим, що у більшості випадків при обробці заготовок $К_{ТС} > 1$, а коефіцієнт зменшення похибок $К_y < 1$, збільшення числа ходів інструмента значно знижує похибку заготовки і підвищує точність обробки.

З формули (5.20) можна визначити потрібну кількість проходів для усунення похибки вихідної заготовки.

З формули (5.20) маємо:

$$К_{ТС}^{\,n} = \frac{\Delta_{в.заг.}}{\Delta_{обр.заг.}}, \qquad (5.21)$$

звідки:

$$n \ell g К_{ТС} = \ell g \Delta_{в.заг} - \ell g \Delta_{обр.заг.};$$

$$n = \frac{\ell g \Delta_{в.заг.} - \Delta_{обр.з}}{\ell g К_{ТС}}. \qquad (5.22)$$

Необхідно відмітити, що розрахунок за формулою (5.20) дає правильні результати тільки до певного числа ходів, коли похибка $\Delta_з$ заготовки більша за похибку, що вноситься впливом даної технологічної системи. Коли частина похибки заготовки, що переноситься з попередніх операцій (ходів), стає зовсім малою, загальна похибка обробленої заготовки виявляється рівною похибці обробки на даному верстаті, яка не може бути знижена подальшим збільшенням числа ходів інструмента.

У тих випадках, коли $К_{ТС} < 1$ (при малій жорсткості технологічної системи), кожен новий хід не тільки не підвищує точність оброблюваної заготовки, але навіть знижує її. Прикладом цього може бути обробка на токарних і шліфувальних верстатах довгих і тонких валів.

Методи визначення та підвищення жорсткості технологічної системи

Методи визначення жорсткості верстатів по цей час носять емпіричний характер, оскільки потрібно враховувати багато факторів.

Принципова схема визначення величини переміщення однієї деталі вузла верстата відносно іншої під дією прикладеної статичної сили показана на рис. 5.21. В міру збільшення ваги вантажу, що навішується на кінці каната, зростає сила Р, яка прикладається до кінця шпинделя коробки швидкостей. За показами індикатора, розташованого проти прикладання сили Р у напрямку її дії, роблять висновки про величину переміщення кінця шпинделя відносно станини верстата. При кожному збільшенні вантажу, тобто сили Р, за показами індикатора записують величину переміщення кінця шпинделя. Після того, як навантаження досягне розрахункової величини, його поступово зменшують, записуючи одночасно покази індикатора.

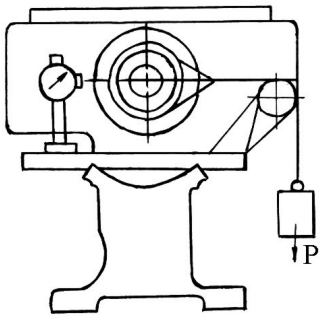


Рис. 5.21. Схема визначення величини переміщення шпинделя коробки швидкостей під дією сили Р (по К.В. Ватинову)

Всі одержанні дані наносять у вигляді точок на графік з координатами сила Р – переміщення у. З'єднуючи точки, одержують криві залежності переміщення від зміни сили Р, як це показано на рис. 5.22. Дві гілки побудованої таким чином кривої одержали назву: перша – навантажувальної, друга – розвантажувальної. Характер кривих говорить про те, що вузли верстатів є не зовсім пружними ланками системи ВПІД.

Описаним методом, який називається статичним, встановлюють нормативи жорсткості верстатів різних типорозмірів, але ці дані не достатньо точні, тому застосовують також виробничий метод.

Виробничий метод – це метод, коли на верстаті в робочому режимі проводять обробку ступінчастої заготовки чи заготовки, яка має биття.

За величинами уточнення

$$K_{TC} = \frac{\Delta_{в.заг.}}{\Delta_{обр.заг.}},$$

за формулою (5.19) підраховують

$$j = \lambda C_p S^{0,75} \frac{\Delta_{в.заг.}}{\Delta_{обр.заг.}}, \qquad (5.23)$$

де $\lambda = P_y / P_z$.

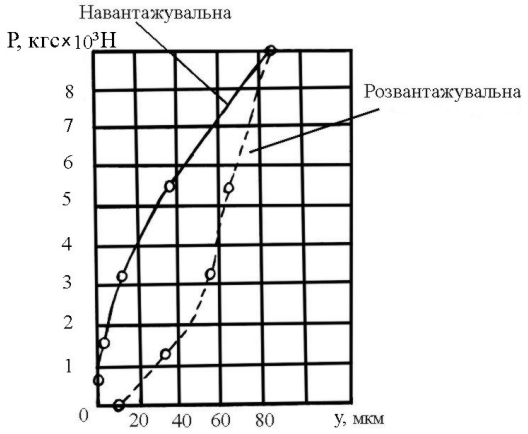


Рис. 5.22. Графік залежності переміщення шпинделя від зміни навантаження

Різниця в j, визначеній цими методами, складає $\frac{j_c}{j_g} \approx 1{,}2 \div 1{,}4$, але застосовують обидва методи: перший – для нових верстатів, другий – безпосередньо у виробництві.

Раніше було показано, що збільшення жорсткості технологічної системи є одним із способів зменшення частини похибки динамічного настроювання і збільшення продуктивності обробки.

Основними шляхами збільшення жорсткості технологічної системи є:

1) скорочення кількості стиків і ланок в розмірних і кінематичних ланцюгах, тобто використання принципу найкоротшого шляху;

2) підвищення якості механічної обробки деталей для скорочення контактних деформацій;

3) підвищення якості складання шляхом належного регулювання та припасування сполучуваних деталей;

4) підвищення власної жорсткості деталей технологічної системи, у тому числі і оброблюваної деталі;

5) стабілізація температури технологічної системи і дія ряду інших факторів чи внесення в технологічну систему поправок, що компенсують вплив температурних та інших деформацій;

6) керування жорсткістю технологічної системи шляхом її зміни в процесі обробки деталей.

5.6. Складові загального поля розсіяння розмірів заготовок від випадкових похибок

Розсіяння розмірів викликають численні випадкові фактори різноманітного характеру. За своїм походженням ці фактори можна об’єднати в декілька окремих груп.

5.6.1. Розсіяння розмірів, пов'язане з видом обробки (похибка методу)

Кожному виду (методу) обробки, що виконується на певному обладнанні, властива своя величина розсіяння розмірів, яка характеризується полем розсіяння $\Delta_м$. В середині методу обробки $\Delta_м$ змінюється в залежності від конструкції, типорозміру та технічного стану верстата.

Значення $\Delta_м$ змінюється також і в процесі обробки партії заготовок в залежності від стану (величини зношування) різального інструменту (рис. 5.9).

Поле розсіяння розмірів, що відповідає різним за часом етапам обробки, називається *миттєвим розсіянням розмірів.* Усереднену похибку $\Delta_м$ називають похибкою методу.

До розрахунків беруть усереднені дані з довідників для окремих методів обробки, або для наборів технологічних переходів.

5.6.2. Розсіяння розмірів, пов'язане з похибками встановлення заготовок та точністю пристроїв

При встановленні заготовки в пристрій похибка встановлення може бути визначена за формулою:

$$\varepsilon_у = 1{,}2\sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2 + \varepsilon_{пр}^2},$$

де $\varepsilon_б$ – похибка базування;

$\varepsilon_з$ – похибка закріплення;

$\varepsilon_{пр}$ – похибка пристрою.

Для розрахунку очікуваної точності інженеру-технологу необхідно вміти визначати:

- похибки базування в залежності від прийнятої схеми встановлення заготовки у пристрої;
- похибки закріплення в залежності від несталості сил затискання, неоднорідності шорсткості поверхонь заготовок, спрацювання установчих елементів пристроїв;
- похибки через спрацювання установчих елементів.

Похибка базування, її суть, причини виникнення, методи визначення розглянуті вище (див. тему 4).

Закріплення – це прикладання сил і пар сил до заготовки для забезпечення сталості її положення.

При встановленні заготовки з вивіренням її положення:

$$\varepsilon_у = 1{,}2\sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2 + \varepsilon_{вив}^2},$$

де $\varepsilon_{вив}$ – похибка вивірення.

Вивірення – процес надання заготовці потрібного положення відносно вибраної системи координат.

Точність вивірення в цілому залежить від досвіду і кваліфікації робітника та від прийнятого методу вивірення. Вивірення може проводитись за поверхнями і за розмітковими штрихами.

Щоб встановлена на столі верстата чи пристрої заготовка не змістилась під дією

сил різання, до заготовки прикладають сили, які б були більші від сил різання і забезпечили б постійний контакт заготовки з установчими елементами.

Таке затискання заготовки прийнято називати силовим замиканням.

Під похибкою закріплення $\varepsilon_з$ розуміють величину зсуву заготовки в напрямку витримуваного розміру відносно різального інструменту під дією затискних сил.

Похибка закріплення виникає в результаті пружних деформацій бази заготовки і установчих елементів пристрою під дією сил закріплення.

Похибку закріплення можна розрахувати за формулою:

$$\varepsilon_з = (y_{max} - y_{min})\cos\alpha,$$

де y – контактна деформація стику заготовка – установчий елемент;

α– кут між напрямками одержаного розміру і прикладання сили затискання.

Похибка закріплення $\varepsilon_з$ – випадкова величина, оскільки зміна сили затискання Q для партії заготовок випадкова.

У загальному випадку контактна деформація стику заготовка – установчий елемент виражається залежністю:

$$y = Cq^m,$$

де C – коефіцієнт, що залежить від матеріалу та якості поверхні заготовки;

q – питомий тиск у місцях контакту;

m – показник степеня (визначається експериментально).

Контактні деформації залежать від величини і сталості питомого тиску на стику і від шорсткості цих поверхонь. Так, якщо технологічна база – необроблене литво, $\varepsilon_з$ =0,1…0,15 мм, після чорнової обробки $\varepsilon_з$ = 0,05…0,075 мм, після чистової обробки $\varepsilon_з$ = 0,010…0,015 мм [2].

При закріпленні в призмі заготовок діаметром до 100 мм з шорсткістю поверхні 5…0,32 мкм і твердістю НВ120–250 контактні деформації, які зміщують вісь заготовки, можна визначити за залежністю [2]:

$$\Delta = (0{,}017 + 3/HB + 0{,}001R_z + 1{,}7D)P^{0,7},$$

де R_z – висота мікронерівностей заготовки, мкм;

D – діаметр заготовки, мм;

P – сила закріплення на 10 мм довжини твірної, по якій відбувається контакт із призмою, Н.

При розрахунку деформацій затискання використовують положення опору матеріалів і теорії пружності.

Обробляючи партії заготовок, похибки затискання можна звести до мінімуму, застосовуючи затискні механізми, які забезпечують сталу силу затискання (пневматичні, гідравлічні механізми), а також скеровуючи відповідним чином сили затискання та обробляючи базуючі поверхні для збільшення площі контакту. Наприклад, змінюючи точкові опори на плоскі, можна досягти зменшення контактних деформацій.

Похибку закріплення при розрахунках наведено в [2].

Зменшити похибку закріплення можна також такими шляхами:

1) правильний вибір точок прикладання затискних сил (навпроти опор);

2) додержання послідовності прикладання сил;

3) застосування особливих заходів при обробці нежорстких та тонкостінних деталей.

Шляхи зменшення похибок пристроїв:

1) обгрунтоване призначення допусків на розташування опорних поверхонь

установчих елементів;

2) дотримання потрібної точності при виготовленні пристрою;

3) періодичний контроль точності пристрою та своєчасна зміна зношених елементів.

Шляхи зменшення похибки вивірення:

1) правильний вибір засобів і методів вивірення;

2) підвищення точності вимірювальних засобів, які застосовують при вивіренні;

3) підвищення кваліфікації робітника.

Похибка виготовлення пристрою $\varepsilon_{пр}$ безпосередньо входить у похибку встановлення. В процесі експлуатації пристрою відбувається спрацювання його установчих елементів, а також елементів для спрямування різального інструменту.

В залежності від ступеня точності оброблюваної заготовки встановлюють гранично допустиме спрацювання установчих елементів. Наприклад, при обробці заготовок середніх розмірів за 6–9 квалітетами точності допустиме спрацювання не повинно перебільшувати 0,015 мм.

Неточність пристрою при його виготовленні в загальному випадку складає 0,25…0,10 допуску відповідного точнісного параметра оброблюваної заготовки.

Лінійне спрацювання u установчих елементів пристрою (опор) визначає похибку Δ_u (Δ_u= u – для опор, $\Delta_u = u / \sin\frac{\alpha}{2}$ – для призм, де α – кут призми).

Похибку визначають за рівнянням [2]:

$$\Delta_u = \frac{NK_{об}(1+0{,}003L)0{,}79t_м}{m - m_1\Pi_1 - m_2\frac{0{,}1Q}{F\cdot H_v}},$$

де N – кількість встановлюваних заготовок;

$K_{об}$ – коефіцієнт, який враховує умови обробки;

L – довжина шляху ковзання заготовки по опорах при досиланні її до упора, мм (визначається з умов експлуатації пристрою);

$t_м$– машинний час обробки заготовки в пристрої, хв;

m, m_1, m_2– коефіцієнти;

Π_1 – критерій стійкості проти спрацювання;

Q – навантаження на опору, Н;

F – площа дотику опори з базовою поверхнею заготовки, мм^2;

H_V – твердість матеріалу опори за Віккерсом ($1H_v \approx 11{,}6HRC_e$).

Міжремонтний період П, який визначає необхідність заміни чи відновлення установчих елементів пристрою, визначають за рівнянням [2]:

$$\Pi = \frac{12K[N]}{N_P},$$

де К – коефіцієнт запасу, який враховує нестабільність спрацювання установчих елементів (К = 0,08…0,85);

[N] – допустима кількість встановлених заготовок до граничного спрацювання установчих елементів, що визначається з рівняння для Δ_u:

$$[N] = \frac{[\Delta_u](m - m_1\Pi_1 - m_2 0{,}1Q/FH_v)}{K_{об}(1+0{,}003L)0{,}79t_м};$$

де $[\Delta_u]$ – допустима величина спрацювання, мкм:

$$[\Delta_u] = T_i - \Delta - \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2},$$

де Δ – сумарна похибка;

$N_р$– річна програма випуску деталей.

Установчі елементи виготовляють з вуглецевих сталей У7А–У10А із загартуванням до твердості HRC 50…51 або зі сталей марки 20, 20Х з цементацією робочих поверхонь на глибину 0,8…1,2 мм і загартуванням до тієї самої твердості, а в деяких випадках наплавляють твердим сплавом, покривають хромом тощо.

5.6.3. Розсіяння розмірів, пов'язане з похибками налагодження технологічної системи

Загальні поняття

Налагодженням технологічної системи називають процес початкового встановлення потрібної точності відносного руху і положення виконавчих поверхонь інструменту та устаткування (або пристрою) з метою забезпечення потрібної точності оброблюваних заготовок.

До налагодження горизонтально-фрезерного верстата входять: встановлення фрези відносно пристрою, перевірка правильності встановлення, фіксація упорів, що обмежують хід стола.

Під налагодженням розуміють встановлення режиму роботи: частоти обертання шпинделя, хвилинної подачі, подачі на оберт тощо.

Похибка налагодження $\Delta_н$ – це відхилення фактичного положення різального інструменту відносно потрібного в напрямку витримуваного розміру, яке визначається як різниця між потрібним і фактичним положенням різального інструменту (рис. 5.23).

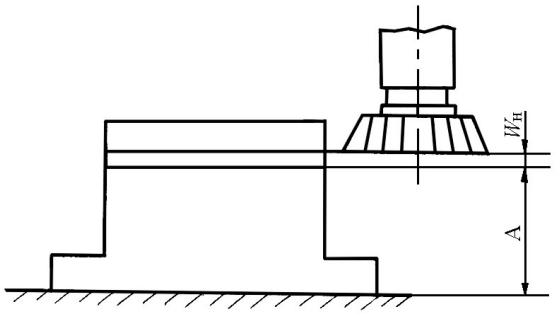


Рис. 5.23. Похибка налагодження технологічної системи на обробку

Розрізняють два основних методи налагодження: шляхом обробки пробних заготовок і за еталоном.

Налагодження шляхом обробки пробних заготовок

При цьому методі виконується послідовне наближення до заданого налагоджувального розміру в результаті обробки на верстаті пробних заготовок. За результатами вимірювань оброблених пробних заготовок робиться висновок про

величину і напрямок необхідного зміщення інструмента. Розміри оброблюваних деталей – величини випадкові і, підлягаючи тому чи іншому закону розподілу, можуть коливатись в межах поля розсіювання. Тому за результатами вимірювання однієї заготовки не можна сказати, до якої точки поля розсіювання цей розмір належить. Для цього необхідно обробити і виміряти декілька заготовок (зазвичай 3–5) і за середнім значенням їх розмірів можна розв'язати цю задачу.

Налагодження вважається правильним, якщо середнє арифметичне розмірів пробних заготовок збігається з серединою поля допуску, або перебуває від нього в межах допуску на налагодження T_H.

При виконанні налагодження шляхом обробки пробних заготовок похибка налагодження може бути обчислена за формулою:

$$\Delta_н = 1{,}2\sqrt{\Delta^2_{рег} + \Delta^2_{вим} + \Delta^2_{зм}},$$

де $\Delta_{рег}$ – похибка регулювання положення різального інструменту і окремих вузлів верстата;

$\Delta_{вим}$ – похибка вимірювання пробних заготовок;

$\Delta_{зм}$ – величина зміщення центра групування групових середніх.

Оскільки регулювання положення інструменту ведеться за допомогою лімбів, похибка регулювання $\Delta_{рег}$ залежить від похибки відліку, викликаної несуміщенням штрихів лімба і покажчика, від ціни поділки лімба, зазору в з'єднанні "гвинт–гайка", маси супорта тощо. Легким постукуванням по ручці лімбу точність регулювання підвищується на 30–40 %. При подачі в стик під тиском повітря, мастила похибка $\Delta_{рег}$ доходить до 1 мкм, а при використанні магнітострикційних пристроїв для переміщення вузлів $\Delta_{рег} = 0{,}1$ мкм (числові значення наведені в [2]).

Похибка вимірювання пробних заготовок $\Delta_{вим}$ залежить від точності вимірювальних засобів (так, для мікрометрів 6-го квалітету $\Delta_{вим} = 19$ мкм, а для мікрометрів 7-го квалітету – $\Delta_{вим} = \pm 18$ мкм).

Величина зміщення центра групування групових середніх $\Delta_{зм}$ залежить від точності методу обробки і кількості m пробних заготовок:

$$\Delta_{зм} = \pm\frac{\Delta_м}{\sqrt{m}}.$$

Цю похибку проф. А.Б. Яхін називає також похибкою зміщення, маючи на увазі, що розраховане для малої кількості m пробних заготовок середнє арифметичне значення розмірів максимально може відрізнятись (зміщуватись) від середнього арифметичного значення розмірів всієї обробленої партії заготовок не більше, ніж на $\Delta_м / \sqrt{m}$. При цьому з технологічної точки зору середнє арифметичне значення розмірів всієї партії заготовок представляє собою настроювальний розмір.

У середньому $\Delta_н$ може складати 30–70 мкм.

Недоліки налагодження шляхом обробки пробних заготовок:

а) при малій кількості пробних заготовок точність налагодження сильно знижується;

б) налагодження трудомістке;

в) частина пробних заготовок може вийти в брак, що не дозволяється для великих і дорогих заготовок.

Через це метод використовують для верстатів з відносно простим налагодженням і при порівняно невеликих розмірах оброблюваних заготовок.

Налагодження за еталоном

Суть цього налагодження полягає в тому, що в розмірні ланцюги технологічної системи включається точно виготовлена копія оброблюваної деталі – еталон з відповідними розмірами.

Часто за еталон використовують раніше оброблену заготовку. При цьому налагодження, наприклад, багаторізцевого токарного напівавтомата, зводиться до встановлення всіх різців у радіальному ($ØD_1$, $ØD_2$) і поздовжньому (A_1, A_2) напрямках шляхом приведення різальних лез різців до дотику з відповідними поверхнями встановленого замість заготовки еталона (рис. 5.24, *а*). Щоб не пошкодити різальні леза інструменту і підвищити точність налагодження між відповідною поверхнею еталона і різальним лезом інструмента встановлюють смужку тонкого цигаркового паперу або щуп необхідної товщини (рис. 5.24, *б*). Зближення інструмента і еталона здійснюється доти, поки смужка паперу або щуп не будуть "закушені" (тобто будуть переміщуватись з легким тертям). Розміри еталона виконують меншими за розрахункові на товщину щупа (рис. 5.24, *б*).

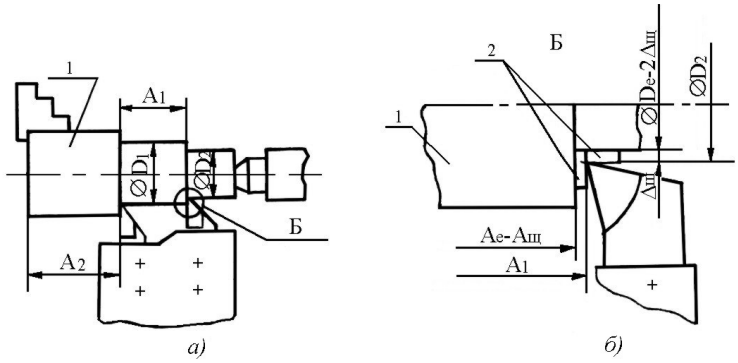


Рис. 5.24. Налагодження багаторізцевого токарного напівавтомата на обробку ступінчастого вала: 1 – еталон; 2 – щуп

Іноді для компенсації зміни фактичних розмірів оброблюваних заготовок еталонні деталі виготовляються з відхиленням від креслення заготовки на величину $\Delta_{попр}$ Так, для деталей типу тіл обертання будемо мати:

$$D_н^{розр} = D_{ет} = X_о \pm \Delta_{попр},$$

де $X_о$ – рівень настроювання;

$\Delta_{попр}$ – поправка, що враховує деформацію в пружній технологічній системі та жорсткість поверхні еталонної деталі, по якій проводиться налагодження:

$$\Delta_{попр} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3;$$

$\Delta_1 = P_y / j$ – враховує дію сил різання;

j – жорсткість технологічної системи;

$\Delta_2 = R_z$ – враховує шорсткість;

Δ_z – зазор у підшипниках шпинделя ($\Delta_з$ = 0,04–0,02 мм):

$$\Delta_з = \frac{Z}{2}.$$

При обробці великих заготовок, а також у ряді інших випадків використання еталонів стає громіздким і неефективним. В цих випадках їх замінюють спеціальними елементами, які називаються габаритами (установами), встроюваними у пристрій (рис. 5.25).

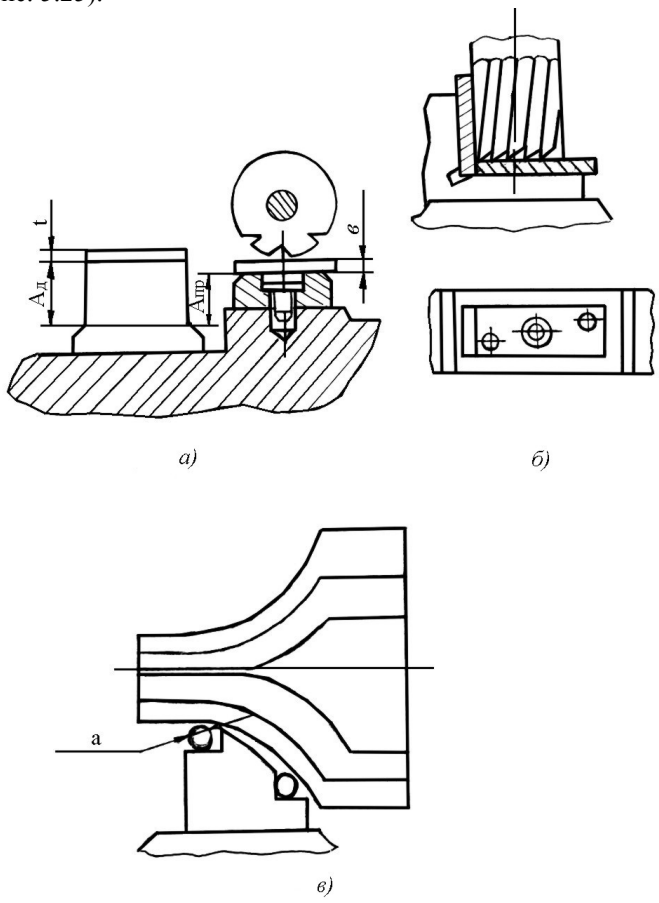


Рис. 5.25. Приклад застосування установів і щупів при встановленні фрези: а – циліндричної за висотним установом та щупом товщиною (t – зрізуваний припуск); б – кінцевої за кутовим установом; в – фасонні за використанням циліндричних щупів

Похибку налагодження технологічної системи за еталоном можна визначити за формулою:

$$\Delta_{н} = 1{,}2\sqrt{\Delta_{е}^{2} + \Delta_{врі}^{2}} ,$$

де $\Delta_{е}$ – похибка виготовлення еталона, $\Delta_{е}$ = 10…20 мкм;

$\Delta_{врі}$ – похибка встановлення різального інструмента за еталоном [2].

Для скорочення часу на налагодження в масовому виробництві при обробці на автоматах і напівавтоматах, в гнучких виробничих системах тощо виконують

налагодження різальних інструментів поза верстатом. Для цього використовують спеціальні прилади, пристосування та пристрої.

Один із найпростіших пристроїв для налагодження різця на діаметральний розмір показаний на рис. 5.26. Попередньо пристрій настроюється на потрібний розмір за допомогою еталона або набору кінцевих мір. Довжина різця регулюється за допомогою спеціального болта, розмір контролюється за індикатором.

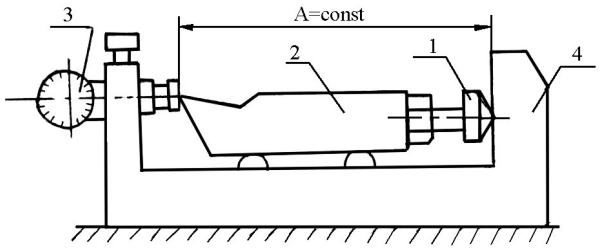


Рис. 5.26. Схема пристрою для налагодження інструменту поза верстатом

Переваги налагодження за еталоном і поза верстатом:

а) значне скорочення трудомісткості налагодження і краще використання устаткування в часі;

б) метод не пов'язаний з витратою пробних заготовок;

в) придатність для налагодження автоматичних ліній, багатопозиційних і багатоінструментальних верстатів, верстатів з ЧПК, багатоопераційних верстатів, верстатів гнучких виробничих систем;

г) не потрібні наладчики високої кваліфікації, оскільки засоби контролю точності налагодження прості та надійні.

Недоліки методу:

а) потреба у виготовленні еталонів і допоміжних пристроїв (при налагодженні поза верстатом);

б) необхідність внесення поправки на динаміку процесу при визначенні розмірів еталону, що досить складно, тому при обробці перших заготовок партії необхідне додаткове регулювання положення інструментів і упорів.

Взагалі при будь-якому методі налагодження з достатньою для практичних цілей точністю можна приймати похибку налагодження не більше ніж 0,1 допуску відповідного розмірного параметра.

5.7. Визначення сумарної похибки обробки розрахунково-аналітичним методом

Розрахунок сумарної похибки обробки звичайно виконують за чотири етапи:

1. Проводять схематизацію реальної операції з відкиданням факторів, які не можуть суттєво впливати на точність (наприклад, для корпусу не враховують похибку форми технологічних баз).

2. Виконують теоретичний аналіз ситуації, встановлюють співвідношення для розрахунку складових похибок Δ_i.

3. Визначають складові похибки Δ_i за теоретичними чи емпіричними

залежностями.

4. Підсумовуючи за певними правилами складові похибки Δ_i, визначають сумарну похибку обробки.

При розрахунку за методом максимуму-мінімуму [2]:

$$\Delta_{обр} = \sum_{i=1}^{n} \Delta_i , \tag{5.24}$$

де n – кількість складових похибок.

При розрахунку за ймовірнісним методом:

$$\Delta_{обр} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(K_i \Delta_i\right)^2} , \tag{5.25}$$

де K_i – коефіцієнт відносного розсіювання, який характеризує відмінність між дійсним розсіюванням складової і-ої похибки і розсіювання за нормальним законом.

Для закону Гаусса К = 1,0, для закону рівної ймовірності К = 1,73, для закону Сімпсона (трикутника) К = 1,22, для композиції закону Гаусса і рівної ймірівності К = 1,2…1,5.

Зазвичай при розрахунках невідомий закон розподілу елементарної складової похибки, тому для всіх похибок приймають К = 1,2.

Тоді:

$$\Delta_{обр} = 1{,}2\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^{\,2}} \ . \tag{5.26}$$

Сумарну похибку обробки заготовок на налагоджених верстатах визначають за рівнянням [5]:

$$\Delta_{обр} = 1{,}2\sqrt{\Delta_м^2 + \varepsilon_y^2 + \Delta_н^2} , \tag{5.27}$$

де $\Delta_м$ – похибка методу обробки;

ε_y – похибка встановлення заготовки;

$\Delta_н$ – похибка налагодження з технологічної системи.

Після визначення сумарної похибки перевіряють можливість обробки без браку за двома умовами (див. п. 6.12).

При невиконанні цих умов необхідно визначити конкретні заходи щодо зменшення $\Delta_р$.

Методика розрахунку елементарних і сумарної похибок обробки на верстатах з ЧПК відрізняється тим, що сумарна похибка складається з більшої кількості елементарних похибок.

До додаткових похибок відносять:

$\Delta_{п.с}$ – похибка позиціонування супорта, за величиною приймається рівною двом дискретам приводу подач за відповідною координатною; зазвичай $\Delta_{п.с} = 1…2$ мкм;

$\Delta_{п.різ}$ – похибка позиціонування різцетримача (інструментальної головки або блока), для сучасних верстатів $\Delta_{п.різ} = 6–8$ мкм;

$\Delta_{кор}$ – похибка відпрацювання коригування (у випадку роботи з коректором), яка дорівнює двом дискретам приводу подач за відповідною координатою.

Разом з тим, при роботі з коректором із формули може бути виключена систематична похибка від розмірного зношування інструмента $\Delta_{зн.і}$, оскільки можна проводити періодичне коригування положення інструмента, при розрахунку похибки розмірного налагодження $\Delta_н$ можна виключити складову $\Delta_{рег.}$, оскільки вона враховується похибкою корекції $\Delta_{кор}$.

Для визначення сумарної похибки обробки, що складається із систематичних та випадкових похибок, потрібно застосовувати графо-аналітичний метод складання. Як відмічалося вище, систематичні похибки (рис. 2.14, *б*, *в*) зміщують центр групування дійсних відхилень розмірів $\overline{X}$ від розрахункового настроювального розміру або рівня настроювання X_o, а випадкові похибки викликають розсіяння розмірів відносно $\overline{X}$ (рис. 5.27), тобто [5]:

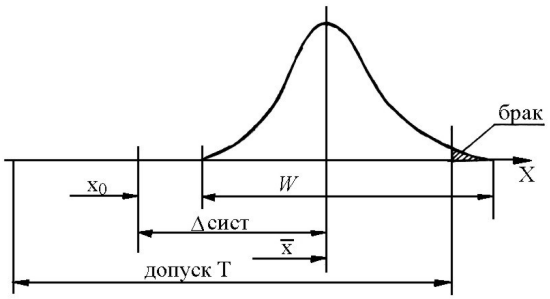


Рис. 5.27. Зміщення вершини кривої розподілу відносно рівня настроювання за наявності систематичних похибок

$$\Delta_{\text{обр}} = 1{,}2\sqrt{\Delta_{\text{м}}^2 + \varepsilon_{\text{у}}^2 + \Delta_{\text{н}}^2} + \Delta_{\text{сист}}.$$

Величина $\Delta_{\text{сист}}$ представляє собою алгебраїчну суму систематичних похибок, що не усуваються при обробці заготовок і впливають на їх розміри, та найбільших значень змінних систематичних похибок.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що є мірою точності виготовлення деталі?
2. Сформулюйте визначення систематичних похибок обробки та наведіть приклади.
3. Сформулюйте визначення випадкових похибок та наведіть приклади.
4. Які причини викликають систематичні та випадкові похибки?
5. Як визначаються випадкові похибки за величиною та напрямком?
6. Які методи використовуються для дослідження точності механічної обробки? Наведіть коротку характеристику цих методів.
7. Як впливають на точність заготовок похибки теоретичної схеми обробки? Наведіть приклади.
8. Наведіть приклади похибок обробки внаслідок геометричної неточності верстатів. Як ці похибки можна класифікувати? Як впливають вони на форму кривої розподілу розмірів? Як їх зменшити чи усунути?
9. Як впливає на точність обробки розмірне зношування різального інструменту? Як визначається похибка обробки з цієї причини? Якими заходами можна зменшити чи усунути ці похибки?
10. Як впливають на точність обробки зусилля запису заготовки? Якими заходами можна зменшити чи усунути ці похибки?
11. Як впливають теплові деформації технологічної системи на точність обробки?

Якими заходами їх можна зменшити чи усунути?

12. Як впливають внутрішні напруги у матеріалі оброблюваної заготовки на точність обробки? Якими заходами можна зменшити чи усунути ці похибки?

13. Що розуміють під жорсткістю та піддатливістю технологічної системи? Як вони визначаються?

14. Як жорсткість та піддатливість технологічної системи впливають на точність розмірів і форми оброблюваних заготовок?

15. Як впливають на точність обробки коливання твердості оброблюваного матеріалу та нерівномірність припуску? Якими заходами можна зменшити чи усунути похибки з цих причин?

16. Що розуміють під уточненнями технологічної системи? Як за допомогою цього параметра визначається кількість проходів для усунення похибки заготовки?

17. Як визначається жорсткість верстатів? Якими шляхами можна підвищити жорсткість технологічної системи?

18. Що розуміють під похибкою методу обробки та миттєвим розсіянням розмірів?

19. Як визначаються похибки встановлення та її складові? Якими заходами можна зменшити чи усунути ці похибки?

20. Як визначаються похибки налагодження технологічної системи? Якими заходами можна зменшити чи усунути ці похибки?

21. Який існує порядок розрахунку сумарної похибки обробки?

22. Як визначається сумарна похибка обробки за наявності тільки випадкових похибок?

23. Як визначається сумарна похибка обробці за наявності систематичних і випадкових похибок?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М., 1969. – 559 с.

2. Бондаренко С. Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К. 1993. – 544 с.

3. Корсаков В.С. Основы технологии машинобудування. М., 1977. – 415 с.

4. Косилова А.Г., Мещеняков Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1. – М., 1985. – 655 с.; Том 2. – М., 1986. – 496 с.

5. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М., 1985. –496 с.

6. Руденко П.А. Теоретические основы технологии машиностроения: Конспект лекций. – Чернигов, 1986. – 258 с.

7. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения. / В.А Аверников, О.А. Горленко, В.Б. Ильецкий и др.; Под общ. ред. О.А. Горленко. – .М., 1988. – 192 с.

8. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Н. Малова. Том 2. – М., – 986. – 446 с.

Тема 6. Забезпечення точності механічної обробки

6.1. Практичне використання законів розподілу розмірів для аналізу точності обробки

На використанні цих законів базується *ймовірнісно-статистичний* метод дослідження та розрахунку точності технологічних процесів.

Суть цього методу полягає в тому, що в результаті обробки даних експерименту визначають точність обробки. Він може бути застосований за умови обробки значної кількості заготовок (50 і більше) як методом пробних робочих ходів, так і методом автоматичного отримання розмірів. Після обробки в певних умовах партії заготовок проводять вимірювання зацікавленого параметра інструментом за шкалою і на основі методів математичної статистики виявляють точність обробки досліджуваного процесу.

Простота визначення характеристик розсіяння і побудови кривих розподілу за даними вимірювання звичайних виробничих заготовок в нормальних умовах роботи цеху, дає можливість за допомогою цього методу:

- вибрати метод обробки;
- визначити показники точності та стабільності технологічної операції (коефіцієнт розсіяння, коефіцієнт надійності операції, точність налагодження тощо);
- визначити кількість ймовірного браку при обробці;
- визначити кількість оброблюваних заготовок, що потребують додаткової обробки;
- розрахувати економічну доцільність використання високопродуктивних верстатів зниженої точності;
- розрахувати настройки верстатів;
- порівняти точність обробки заготовок при різному стані обладнання, інструменту, мастильно-охолоджуючої рідини;
- порівняти точність обробки на різних верстатах;
- оцінити якість ремонту верстатів (шляхом порівняння кривих розсіювання розмірів заготовок, оброблених до і після ремонту верстатів);
- порівняти точність обробки одних і тих же заготовок у денні та нічні зміни.

До особливих переваг методу відноситься можливість проведення різноманітних досліджень точності та стійкості технологічних процесів без зупинки нормального виробничого процесу і без виготовлення спеціальних експериментальних зразків.

До недоліків методу можна віднести:

- метод потребує великого обсягу спостережень, тому економічно доцільний у великосерійному та масовому виробництвах;
- не враховується послідовність обробки;
- не визначається вплив на точність окремих факторів і не вказуються шляхи підвищення точності.

6.1.1. Вибір методу обробки

Метод обробки чи набір технологічних переходів для виконання будь-якої операції вибирають на основі порівняння допуску за кресленням на оброблюваний розмір з полем розсіювання методу $\Delta_м$. При цьому повинна виконуватись умова:

$$T > \Delta_м.$$

Величину $\Delta_м$ беруть з довідника технолога. Конкретний верстат вибирає технолог цеху за статистичними даними про його технічний стан (за величиною емпіричного середнього квадратичного відхилення S).

Тоді теоретичне середнє квадратичне відхилення дорівнює:

$$\sigma = \gamma S.$$

Допуск розміру за кресленням має задовольняти умові:

$$T > 6\sigma \text{ або } T > \Delta_р.$$

У протилежному випадку неминучим буде брак при обробці.

6.1.2. Умови обробки без браку для закону нормального розподілу

Для обробки без браку повинні виконуватися дві наступні умови:

– перша:

$$T_п = \frac{T}{6\sigma} = \frac{T}{6\gamma S} > 1, \qquad (6.1)$$

де $T_п$ – коефіцієнт точності процесу; якщо $T_п > 1{,}12$ процес вважається надійним, при $T_п = 1\ldots1{,}12$ – процес точний, але ненадійний;

T – поле допуску на розмір, що аналізується;

– друга:

$$e_{факт} \le e_{доп}, \qquad (6.2)$$

де $e_{факт}$ – фактичний коефіцієнт точності настроювання;

$e_{доп}$ – допустимий коефіцієнт точності настроювання.

Для визначення цих коефіцієнтів розглянемо рис. 6.1.

На рис. 6.1:

спд – середина поля допуску

$$\Delta_о = \frac{A_{min} + A_{max}}{2} \qquad (6.3)$$

$\Delta_о$ – координата середини поля допуску:

спр – середина поля розсіяння розмірів;

$\overline{X}$ – фактичний настроювальний розмір;

$E_{факт}$, $E_{доп}$ – фактичне і допустиме зміщення центра групування відхилень розмірів від $\Delta_о$:

$$E_{факт} = \left|\overline{X} - \Delta_о\right|; \qquad (6.4)$$

$$E_{доп} = \frac{T}{2} - \frac{\Delta_р}{2} = \frac{T - 6\sigma}{2} = \frac{T - 6\gamma S}{2}. \qquad (6.5)$$

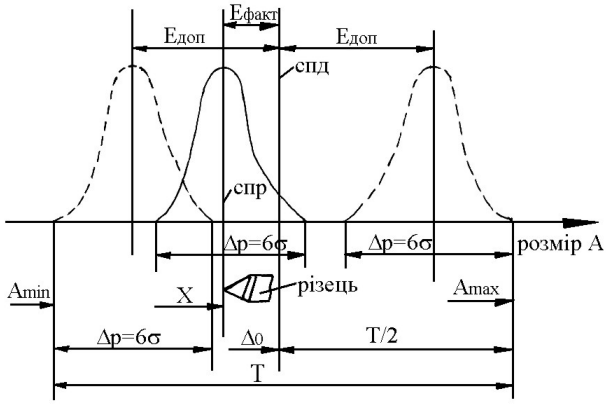


Рис. 6.1. Схема визначення коефіцієнтів точності настроювання

Коефіцієнти точності настроювання представляють собою відношення Е до допуску Т. Тоді:

$$e_{факт} = \frac{E_{факт}}{T} = \frac{\left|\overline{X} - \Delta_o\right|}{T}; \tag{6.6}$$

$$e_{доп} = \frac{E_{доп}}{T} = \frac{T - 6\sigma}{2T} = \frac{T - 6\gamma S}{2T}. \tag{6.7}$$

Порушення будь-якої з цих умов призводить до неминучої появи браку.

6.1.3. Визначення кількості ймовірного браку заготовок

У тих випадках, коли для закону нормального розподілу розміру не виконуються умови, зазначені в п. 6.1.2 можливий брак заготовок.

Ймовірний відсоток браку від всієї партії оброблюваних заготовок обчислюється наступним чином. При розсіюванні розмірів за законом нормального розподілу (Гаусса) приймається з похибкою не більше 0,27 %, що всі заготовки партії мають дійсні розміри в межах поля розсіювання.

При цьому очевидно, що площа, яка обмежена кривою нормального розподілу і віссю абсцис (рис. 6.2), дорівнює одиниці і визначає 100 % заготовок партії. Площа заштрихованих ділянок представляє собою кількість (в частках одиниці або у відсотках) заготовок, що виходять своїми розмірами за межі допуску.

Для визначення кількості придатних заготовок необхідно знайти площу, яка обмежена кривою та віссю абсцис на довжині, рівній допуску:

$$T = A_{max}^{доп} - A_{min}^{доп}.$$

При симетричному розташуванні поля розсіювання відносно поля допуску (рис.6.2, *а*) потрібно знайти подвоєне значення інтегралу, що визначає половину площі, обмеженої кривою Гаусса та абсцисою x_0:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} e^{-\frac{(A_i - A_{сер})^2}{2\sigma^2}} dA. \tag{6.8}$$

Вираз (6.8) можна записати в нормованому вигляді у формі відомої функції Лапласа:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \,. \qquad (6.9)$$

Значення цієї функції табульоване в залежності від величини t та наведене у додатку 3.

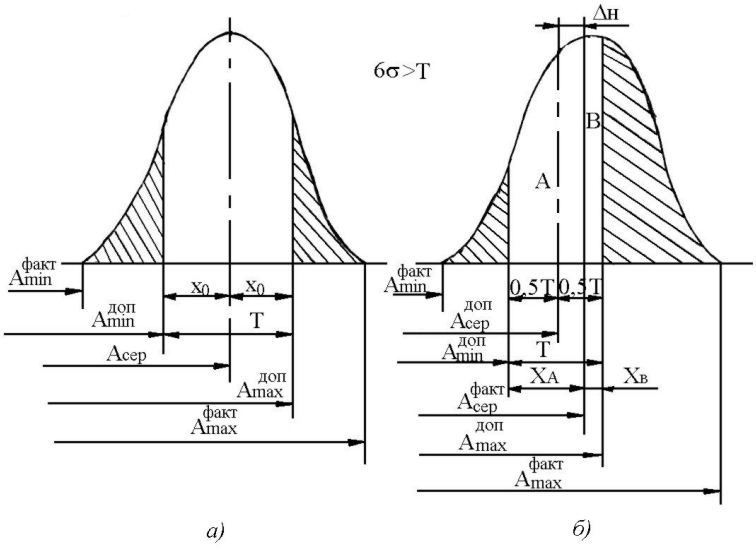


Рис. 6.2. Кількість ймовірного браку при симетричному (а) і несиметричному (б) розташуванні поля розсіювання відносно поля допуску

У формулі (6.9) величина t представляє собою нормований параметр розподілу або коефіцієнта ризику і визначається виразом:

$$t = \frac{\left(A_i - A_{cep}\right)}{\sigma} = \frac{x_0}{\sigma} \,. \qquad (6.10)$$

Якщо заданий допуск на розмір і граничні відхилення деталі за кресленням $x_в$ і $x_н$, то формулу (6.10) можна записати у вигляді:

$$t_в = \frac{\left(x_в - \overline{X}\right)}{\sigma}, \quad t_н = \frac{\left(x_н - \overline{X}\right)}{\sigma}, \qquad (6.11)$$

а ймовірний відсоток браку складе:

– по верхній границі поля допуску:

$$P_{б.в} = [0{,}5 - \Phi(t_в)] \cdot 100\ \%; \qquad (6.12)$$

– по нижній границі поля допуску:

$$P_{б.н} = [0{,}5 - \Phi(t_н)] \cdot 100\ \%. \qquad (6.13)$$

Таким чином, розрахунок кількості бракованих заготовок зводиться до встановлення за формулами (6.11) величин t по верхній і нижній границях допуску та визначення $\Phi(t_в)$ і $\Phi(t_н)$ за таблицею додатку 2 з наступним перерахунком отриманих величин у відсотках в кількість штук заготовок.

6.1.4. Приклад обробки статистичних даних і визначення характеристик емпиричного розподілу

Завдання

Визначити точність та стабільність операції токарної обробки вала $D = 80^{+0,27}_{+0,22}$ мм при випадковій вибірці деталей, що оброблені на верстаті при декількох налагодженнях.

Розв'язання

1. З метою забезпечення випадковості вибірки деталі, що складають генеральну сукупність, ретельно переміщуємо в тарі і відбираємо з різних місць тари вибірку для досліджень з кількості 88 шт.

2. Вимірюємо деталі інструментом за шкалою (індикаторною скобою) з ціною поділки с = 0,002 мм. Результати вимірювань заносимо в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Початкові дані

80,247	80,246	80,235	80,252	80,245	80,257	80,244	80,246
80,250	80,241	80,250	80,240	80,251	80,239	80,249	80,228
80,259	80,253	80,238	80,246	80,264	80,248	80,243	80,253
80,233	80,262	80,247	80,244	80,258	80,255	80,245	80,234
80,242	80,251	80,236	80,249	80,243	80,241	80,256	80,247
80,260	80,245	80,255	80,248	80,247	80,250	80,242	80,252
80,252	80,248	80,231	80,242	80,254	80,236	80,243	80,241
80,239	80,237	80,251	80,256	80,243	80,248	80,254	80,248
80,254	80,242	80,234	80,238	80,253	80,235	80,239	80,244
80,240	80,249	80,244	80,245	80,237	80,249	80,246	80,250
80,251	80,257	80,247	80,252	80,255	80,241	80,258	80,240

За результатами вимірювань визначаємо різницю між найбільшим і найменшим розмірами:

$$W = x_{max} - x_{min} = 80,264 - 80,228 = 0,036 \text{ мм}.$$

3. Отримані значення розбиваємо на 7 інтервалів (d = 0,006 мм)

4. Для кожного інтервалу визначаємо частоту, тобто підраховуємо кількість деталей, що ввійшли в кожен з інтервалів, причому в кожен інтервал включаються деталі з розмірами, які лежать в межах від найменшого значення інтервалу включно до найбільшого значення інтервалу, виключаючи його. Отримані дані заносимо в табл. 6.2.

5. Побудова гістограми та емпіричної кривої розподілу похибок.

Для побудови гістограми розподілу на осі абсцис відкладаємо інтервали розмірів і на кожному з цих інтервалів, як на основі, будуємо прямокутник, висота якого пропорційна частоті емпіричного розподілу. З'єднуючи середини верхніх сторін прямокутників відрізками прямих, отримуємо графік, який називається емпіричною кривою або полігоном розподілу (рис. 6.3).

Таблиця 6.2

Підрахунок частот емпіричного розподілу

Інтервали розмірів		Середина інтервалу x_i	Підрахунок частот	Частота n_i
від	до			
80,225	80,231	80,228	1	1
80,231	80,237	80,234	11111111	8
80,237	80,243	80,240	111111111111111111	18
80,243	80,249	80,246	11111111111111111111111111	26
80,249	80,255	80,252	1111111111111111111111	22
80,255	80,261	80,258	11111111111	11
80,261	80,267	80,264	11	2
Всього				88

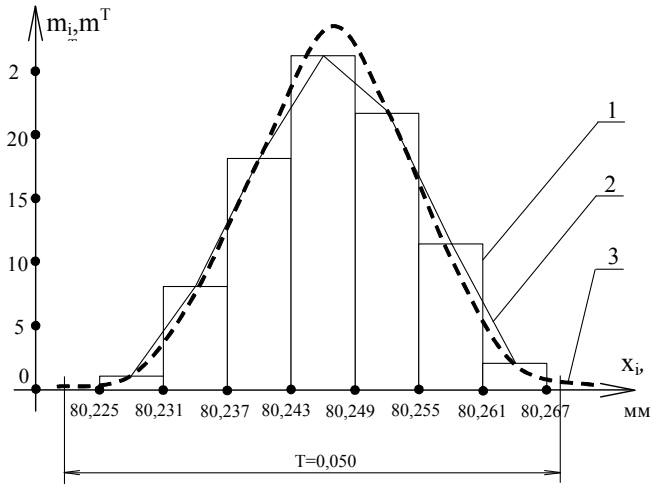


Рис. 6.3. Гістограма (1), емпірична крива (2) та теоретична крива нормального розподілу (3) розмірів деталей

На основі полігону розподілу похибок за гіпотезу теоретичного розподілу частот досліджуваного параметра приймаємо *закон нормального розподілу.*

6. Визначення основних параметрів прийнятого закону розподілу.

За оцінку основних параметрів закону нормального розподілу використовують вибіркове середнє арифметичне значення досліджуваного параметра $\overline{X}$ і вибіркове середнє квадратичне відхилення S, які обчислюються за формулами (2.3) та (2.2):

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{f} x_i m_i}{f};$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{f} \left(x_i - \overline{X}\right)^2 m_i}{f}}.$$

Для полегшення підрахунків використовуємо табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Допоміжна таблиця для обчислення $\overline{X}$ і S вибірки

Інтервали розмірів		Середина інтервалу	Частота	$x_i m_i$	$\lvert x_i - \overline{X}\rvert$	$(x_i - \overline{X})^2$	$m_i(x_i - \overline{X})^2$
від	до	x_i	m_i				
80,225	80,231	80,228	1	80,228	0,019	0,000361	0,000361
80,231	80,237	80,234	8	641,872	0,013	0,000169	0,001352
80,237	80,243	80,240	18	1444,32	0,007	0,000049	0,000882
80,243	80,249	80,246	26	2086,396	0,001	0,000001	0,000026
80,249	80,255	80,252	22	1765,544	0,005	0,000025	0,00055
80,255	80,261	80,258	11	882,838	0,011	0,000121	0,001331
80,261	80,267	80,264	2	160,528	0,017	0,000289	0,000578
Всього			88	7061,726			0,00508

Вибіркове середнє арифметичне значення $\overline{X}$ дорівнює:

$$\overline{X} = \frac{7061{,}726}{88} = 80{,}247 \text{ мм},$$

а вибіркове середнє квадратичне відхилення S:

$$S = \sqrt{\frac{0{,}00508}{88}} = 0{,}0076 \text{ мм}.$$

7. Порівняння емпіричного розподілу з теоретичним та побудова теоретичної кривої

За зовнішнім виглядом емпіричної кривої можна приблизно встановити закон розподілу похибок в генеральній сукупності. Для більш точного висновку необхідно співставити емпіричну криву з кривою, що передбачається теоретично. З цією метою для кожного інтервалу значень необхідно обчислити теоретичні частоти або частості і по них побудувати теоретичну криву розподілу.

При побудові теоретичної кривої нормального розподілу приймається, що $\overline{X}_o = \overline{X}$ і $\sigma = S$.

Теоретичну частоту обраховуємо за формулою (2.9):

$$m_i^T = \frac{nd}{S} z_t = \frac{88 \times 0{,}006}{0{,}0076} z_t = 69{,}5 z_t .$$

Величина Z_t обчислена для різних значень t і наведена в додатку 1. Значення t для кожного інтервалу розмірів знаходяться за формулою (2.10):

$$t = \frac{\lvert x_i - \overline{X}\rvert}{S}.$$

Отже, для підрахунку теоретичних частот необхідно для кожного інтервалу розмірів за формулою (2.10) визначити значення t, за таблицею додатку 1 знайти Z_t і потім скористатися формулою (2.9). При підрахунку теоретичних частот доцільно використовувати допоміжну табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Обчислення теоретичних частот нормального розподілу

Інтервали розмірів		Середина інтервалу x_i	Частота m_i	$\lvert x_i - \overline{X} \rvert$	t	Z_t	Теоретична частота m_i^T	Теоретична частота m_i^T (зокругленням)
від	до							
80,225	80,231	80,228	1	0,019	2,5	0,0175	1,2	1
80,231	80,237	80,234	8	0,013	1,71	0,0925	6,4	7
80,237	80,243	80,240	18	0,007	0,92	0,2613	18,2	18
80,243	80,249	80,246	26	0,001	0,13	0,3956	27,5	28
80,249	80,255	80,252	22	0,005	0,66	0,3209	22,3	22
80,255	80,261	80,258	11	0,011	1,45	0,1394	9,7	10
80,261	80,267	80,264	2	0,017	2,24	0,0325	2,3	2
Всього			88					88

Для точної побудови теоретичної кривої нормального розподілу обчислюють координати характерних точок кривої нормального розподілу за формулами, які наведені в табл. 2.3 і будується табл. 6.5

Таблиця 6.5

Координати характерних точок кривої нормального розподілу

Характерні точки	Абсциса		Ордината	
Вершина кривої	$\overline{X}$	80,247	$m_{i_X}^T = 0{,}4\frac{nd}{S}$	28
Точка перегину	$\overline{X} \pm S$	80,2546 80,2394	$m_{i_S}^T = 0{,}242\frac{nd}{S}$	17
Точка перегину	$\overline{X} \pm 2S$	80,2622 80,2318	$m_{i_{2S}}^T = 0{,}054\frac{nd}{S}$	4
Точка перегину	$\overline{X} \pm 3S$	80,2698 80,2242	$m_{i_{3S}}^T = 0$	0

Графік теоретичної кривої нормального розподілу поєднується з гістограмою та емпіричною кривою, тобто зображається на рис. 6.3.

8. Перевірка гіпотези про розподіл випадкової величини.

Для перевірки відповідності емпіричного розподілу теоретичному існує ряд критеріїв. В даному прикладі з цією метою використовується критерій Персона χ^2 (2.11):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{\left(m_i - m_i^T\right)^2}{m_i^T}.$$

Для зручності обчислення доцільно використовувати табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Допоміжна таблиця для обчислення критерію χ^2

Інтервали розмірів		Середина інтервалу x_i	Частота m_i	Теоретична частота m_i^T	$m_i - m_i^T$	$(m_i - m_i^T)^2$	$\frac{(m_i - m_i^T)^2}{m_i^T}$
від	до						
80,225	80,231	80,228	1	1			
80,231	80,237	80,234	8 } 9	7 } 8	1	1	0,125
80,237	80,243	80,240	18	18	0	0	0
80,243	80,249	80,246	26	28	-2	4	0,143
80,249	80,255	80,252	22	22	0	0	0
80,255	80,261	80,258	11	10			
80,261	80,267	80,264	2 } 13	2 } 12	1	1	0,083
Всього			88	88			0,351

При визначенні критерію необхідно, щоб частота була не менше п'яти. Якщо в будь-якому інтервалі частота буде менше п'яти, то її необхідно об'єднати з сусіднім значенням.

Потім необхідно знайти число k за формулою:

$$k = m - p - 1,$$

де p – число параметрів теоретичного розподіле. Для нормального розподіле p = 2.

За таблицею додатку Б за знайденими значеннями χ^2 і k визначається ймовірність $P(x^2)$. Якщо буде виконуватися нерівність $P(\chi^2) > 0.05$, то можна вважати, що емпіричній розподіл відповідає теоретичному (нормальному) і можна використовувати його закономірності для аналізу точності обробки.

Якщо вказана нерівність виконуватися не буде, то як теоретичний розподіл потрібно використовувати інший закон розподілу.

В наведеному прикладі:

$\chi^2 = 0,351;$

$k = 5 - 2 - 1 = 2;$

$P(\chi^2) = 0,8 > 0,05.$

Відповідно можна вважати, що розподіл розмірів відповідає *нормальному закону.*

9. Визначення ймовірності відсотка браку при виконанні операції, що досліджується.

Для нормального розподілу поле розсіювання похибок (в генеральній сукупності) визначається за формулою:

$$\Delta_p = 6\sigma. \qquad (6.14)$$

Вибіркове середнє квадратичне відхилення S є наближеною оцінкою середньоквадратичного відхилення випадкової величини σ. Похибка оцінки σ по S залежить від обсягу вибірки.

Враховуючи цю обставину, необхідно при використанні формули (6.14) значення σ визначати із співвідношення (2.6):

$$\sigma = \gamma S,$$

де γ – коефіцієнт, який приймається в залежності від обсягу вибірки за табл. 2.1.

Необхідною умовою обробки деталі без браку є виконання двох умов (6.1) та (6.2):

а) перевірка першої умови за (6.1):

$$T_n = \frac{T}{6\sigma} = \frac{0,05}{0,055} \approx 0,91;\ T_n < 1;$$

б) перевірка другої умови за (6.2)

$$E_{факт} = \left|\overline{X} - \Delta_o\right| = 80,247 - 80,245 = 0,002 \text{ мм},$$

де $\overline{X} = 80,247$ мм;

$$\Delta_o = \frac{80,27 + 80,22}{2} = 80,245 \text{ мм};$$

$$E_{доп} = \frac{E - 6\sigma}{2} = \frac{0,05 - 0,0092}{2} = \frac{0,0408}{2} = 0,0204 \text{ мм};$$

$$e_{факт} = \frac{E_{факт}}{T} = \frac{0,002}{0,05} = 0,4;$$

$$e_{доп} = \frac{E_{доп}}{T} = \frac{0,0204}{0,05} = 0,408;$$

$e_{факт} \le e_{доп}$.

Одна з умов (перша) не виконується. Отже уникнути браку неможливо, необхідно розрахувати величину ймовірного браку.

Якщо задані допуск на розмір і граничні розміри деталі за кресленням $x_в$ і $x_н$, то ймовірний відсоток браку буде рівним:

– по верхній границі поля допуску:

$$P_{б.в} = [0,5 - \Phi(t_в)] \cdot 100\ \%; \qquad (6.15)$$

– по нижній границі поля допуску:

$$P_{б.н} = [0,5 - \Phi(t_н)] \cdot 100\ \%. \qquad (6.16)$$

У формулах (6.15) і (6.16):

$$\left.\begin{aligned} t_в &= \frac{\left|x_в - \overline{x}\right|}{\sigma} \\ t_н &= \frac{\left|x_н - \overline{x}\right|}{\sigma} \end{aligned}\right\}. \qquad (6.17)$$

У наведеному прикладі:

$\sigma = 1,21 \cdot 0,0076 = 0,0092$ мм;

$\Delta_р = 6 \cdot 0,0092 = 0,055$ мм;

$$t_в = \frac{\left|80,27 - 80,247\right|}{0,0092} = 2,5; \qquad \Phi(t_в) = 0,4940;$$

$$t_н = \frac{\left|80,22 - 80,247\right|}{0,0092} = 2,93; \qquad \Phi(t_н) = 0,4980;$$

– по верхній границі поля допуску (виправний брак):

$P_{б.в} = [0,5 - 0,4940] \cdot 100\ \% = 0,6\ \%$;

– по нижній границі поля допуску (невиправний брак):

$P_{б.н} = [0,5 - 0,4980] \cdot 100\ \% = 0,2\ \%$.

Отже, можливий брак складає:

$$P_б = P_{б.в} + P_{б.н} = 0,6 + 0,2 = 0,8\ \%,$$

що дорівнює 1 деталі при розмірі вибірки N = 88.

Отже, точність технологічної операції недостатня і ймовірний відсоток браку складає 0,8 %, процес обробки ненадійний, хоча точність налагоджування виконана правильно.

Технологічний допуск, який можна витримати на даній операції, при обробці деталі без браку згідно з першою умовою п. 6.1.2 складає:

$$T = 1,12\Delta_р = 1,12 \times 0,055 = 0,062 \text{ мм}.$$

Визначення ймовірної кількості браку при розподілі розмірів за функцією a(t)

У випадку, коли розсіювання розмірів заготовок викликається не тільки випадковими, але й змінними систематичними похибками і розподіл розмірів підкоряється функції a(t) з параметрами σ_a і λ_a, порядок обчислення ймовірної кількості браку при $\Delta_р > T$ принципово нічим не відрізняється від розрахунку при розподілі розмірів за законом Гаусса.

Також, як і при нормальному розподілі, ймовірна кількість бракованих заготовок визначається сумою заштрихованих ділянок площі, обмеженої кривою функції a(t), при симетричному розташуванні кривої розподілу по відношенню до поля допуску (рис. 6.4, *а*) або величиною заштрихованої ділянки цієї площі при однобічному виході бракованих заготовок за межі поля допуску (рис. 6.4, *б*).

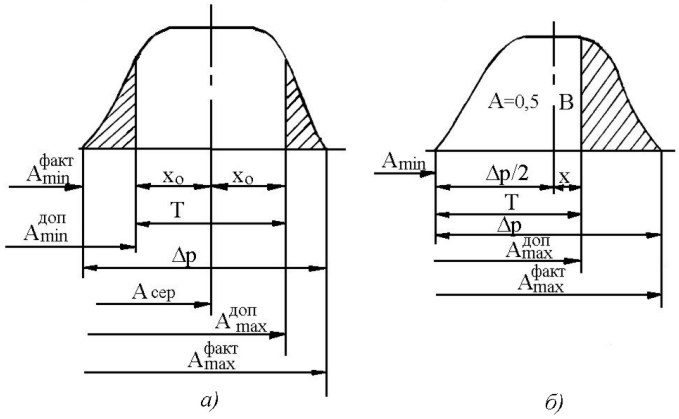


Рис. 6.4. Кількість ймовірного браку при симетричному (а) та несиметричному (б) розташуванні поля розсіювання, обмеженого кривою функції a(t), *відносно середини поля допуску*

Аналогічно закону Гаусса функцію a(t) можна виразити в нормованому вигляді за допомогою нормованого параметра розподілу, який у даному випадку визначається за формулою:

$$t_a = \frac{\left(A - A_{сер}\right)}{\sigma_a} = \frac{x_0}{\sigma_a}, \qquad (6.18)$$

де σ_a – середнє квадратичне відхилення функції.

Після відповідних перетворень функція

$$a(t) = \Phi(t_a, \lambda_a) \qquad (6.19)$$

табулюється (додаток 4).

При симетричному розташуванні кривої розподілу функції a(t) відносно середини поля допуску (рис. 6.4, *а*) розміри заштрихованих ділянок площі (а, отже і частку браку) визначають послідовним розрахунком величин:

$$\lambda_a = \frac{\ell}{\sigma};\ x_o = \frac{T}{2};\ A_{сер} = \frac{A_{min}^{доп} + A_{max}^{доп}}{2}$$ і t_a за формулою (6.18).

За встановленими значенням λ_a і t_a (по таблиці додаток 4) знаходять $\Phi(\lambda_a, t_a)$, що виражає у частках одиниці половину загальної кількості придатних заготовок (незаштрихована ділянка площі на рис. 6.4, *а*, розташована по один бік середини поля допуску), і розраховують загальну кількість бракованих заготовок у відсотках за формулою:

$$Q_{бр} = 100\ \% \cdot [1 - 2\Phi(t_a, \lambda_a)]. \qquad (6.20)$$

Приклад

На револьверному верстаті обробляють 300 шт. валиків зі сталі 45. Розміри заготовок ∅25х40 мм. Допуск на обробку – 0,1 мм. Матеріал різця – Т30К4. Режим різання: V = 150 м/хв; подача S = 0,08 мм/об; t = 0,5 мм.

При обробці пробної партії заготовок експериментально встановлено і підраховано, що розсіювання розмірів заготовок при обробці на даному верстаті характеризується середнім квадратичним відхиленням σ = 0,025 мм.

Визначити кількість придатних і бракованих заготовок при умові, що настроювання верстата забезпечує симетричне розташування кривої розсіювання відносно середини поля допуску.

Розв'язання

У зв'язку з тим, що за рахунок зношування різця при обробці 300 шт. заготовок відбувається безперервне зміщення вершини кривої розсіювання Гаусса вправо (в бік збільшення розмірів), вважаємо, що фактичний розподіл розмірів підкоряється функції a(t) і за умовами задачі відповідає схемі, зображеній на рис. 6.4, *а*.

1. Зміщення центра групування $2l$ кривої визначається збільшенням діаметра оброблюваних заготовок, зношуванням різця під час обробки заготовок, тобто $2l = 2i$, де у відповідності з формулою (2.5) [3, табл. 2.1]: n = 300 шт.

$$i = i_o \frac{L + L_{додатк}}{1000};\ i_o = 6{,}5 \text{ мкм}.$$

Шлях різання ℓ при обробці n = 300 шт. заготовок дорівнює

$$\ell = \frac{\pi DL}{1000\,S} n = \frac{\pi \cdot 25 \cdot 40}{1000 \cdot 0{,}08} \cdot 300 = 11775 \text{ мм};$$

зношування

$$i = 0{,}0065 \frac{11775 + 1000}{1000} = 0{,}083 \text{ мм};$$

$l = i = 0{,}083$ мм.

Зміщення центра групування $2l = 0{,}166$ мм.

2. За формулою (2.25):

$$\lambda_a = \frac{\ell}{\sigma} = \frac{0{,}083}{0{,}025} = 3{,}32 .$$

3. Середнє квадратичне відхилення функції a(t) за формулою (2.28):

$$\sigma_a = \sigma\sqrt{1+\frac{1}{3}\lambda_a^2} = 0{,}025\sqrt{1+\frac{1}{3}(3.32)^2} = 0{,}054 \text{ мм}.$$

4. Поле розсіювання для a(t) при $\lambda_a = 3$:

$$\Delta_p = 4{,}74\sigma_a = 4{,}74 \cdot 0{,}054 = 0{,}256 \text{ мм}$$

значно перевищує поле допуску T = 0,1 мм, тому при обробці всієї партії заготовок без підналагодження верстата брак є технічно неминучим (рис. 6.4, *а*).

5. Для визначення кількості ймовірного браку обчислюється значення t_a за формулою (6.18):

$$t_a = \frac{x_o}{\sigma_a} = \frac{0{,}05}{0{,}054} = 0{,}926 .$$

Кількість придатних деталей при $\lambda_a = 3{,}0$ і $t_a = 0{,}926$ (див. додаток 4):

$Q = 2\Phi(t_a, \lambda_a) = 2 \cdot 0{,}2969 = 0{,}5938,$

тобто 59,38 % від всієї партії, або 178 шт. Брак заготовок – 40,62 % або 122 шт.

Як бачимо, брак великий (40,62 %).

Для зменшення браку доцільно замінити різець з твердого сплаву Т30К4 більш стійким різцем з ельбору, який має відносне зношування $i_o = 3{,}0$ мкм при V = 550 м/хв і S = 0,06 мм/об (див.[3, табл. 2.1]).

В цьому випадку шлях різання при обробці однієї заготовки зростає:

$$\ell = \frac{\Pi DL}{1000\,S} = \frac{\pi \cdot 25 \cdot 40}{1000 \cdot 0{,}06} = 52{,}3 \text{ м},$$

проте зношування різця при обробці партії знижується до

$$i = \frac{0{,}003(52{,}3 \cdot 300 + 1000)}{1000} = 0{,}0501 \text{ мм}$$

і $l = 0{,}0501$ мм.

Відповідно зменшується:

$$\lambda_a = \frac{\ell}{\sigma} = \frac{0{,}051}{0{,}025} = 2{,}00;$$

$$\sigma_a = \sigma\sqrt{1+\frac{1}{3}\lambda_a^2} = 0{,}025\sqrt{1+\frac{1}{3}(2)^2} = 0{,}0386 \text{ мм}$$

і поле розсіювання

$$\Delta_p = 4{,}74\sigma_a = 4{,}74 \cdot 0{,}038 = 0{,}181 \text{ мм}.$$

При цьому збільшуються

$$t_a = \frac{x_o}{0{,}038} = \frac{0{,}05}{\sigma_a} = 1{,}316 ;$$

$Q = 2\Phi(t_a, \lambda_a) = 2 \cdot 0{,}3984,$

тобто 79,7 % партії заготовок чи 239 шт. є придатними. Брак у цьому випадку складає 20,3 %, чи 61 шт., тобто стає у два рази меншим, ніж при обробці різцем з твердого сплаву.

Великі переваги застосування ельбору у порівнянні з твердим сплавом пов’язані не тільки зі значним підвищенням точності обробки, але й з одночасним

зростанням її продуктивності за рахунок збільшення швидкості різання із 150 до 550 м/хв.

Досить часто при обробці заготовок в умовах одночасної дії випадкових і змінних систематичних похибок настроювання верстата проводять за першими пробними заготовками без врахування наступного зношування різця та зміщення центра групування. При цьому крива розподілу розмірів оброблених заготовок розташовується так, що її початок збігається з однією з границь поля допуску (рис. 6.4, *б*). В цьому випадку кількість бракованих заготовок у відсотках визначається площею заштрихованої ділянки, розташованої з одного боку за межами поля допуску, тобто:

$$Q_{бр} = [0,5 - 2\Phi(t_a, \lambda_a)] \cdot 100\ \%, \qquad (6.21)$$

а кількість придатних заготовок Q – сумою площ A = 0,5 і B = $\Phi(\lambda_a, t_a)$, тобто:

$$Q = [0,5 + \Phi(t_a, \lambda_a)] \cdot 100\ \%. \qquad (6.22)$$

Приклад

Для умов, аналогічних прикладу при обробці заготовок різцем з ельбору, визначити кількість придатних і бракованих заготовок, якщо настроювання верстата забезпечує збігання початку кривої розподілу з нижньою границею поля допуску (рис. 6.4, *б*).

Розв'язання

За результатами розрахунку попереднього прикладу $\lambda_a = 2,0$, $\sigma_a = 0,038$ мм і поле фактичного розсіювання розмірів $\Delta_p = 0,181$ мм.

З рис. 6.4, *б* видно, що

$$x_o = T - \frac{\omega}{2} = 0,1 - \frac{0,181}{2} = 0,0095 \text{ мм};$$

$$t_a = \frac{x_o}{\sigma_a} = \frac{0,0095}{0,038} = 0,25.$$

З додатку 4 маємо $\Phi(\lambda_a, t_a) = 0,083$. За формулою (6.21) отримуємо:

$$Q_{бр} = (0,5 - 0,083) \cdot 100\ \% = 41,7\ \% \text{ чи } 125 \text{ шт.}$$

З розрахунку випливає, що при однобічному розташуванні бракованих заготовок (рис. 6.4, *б*) загальна кількість браку значно більша, ніж при симетричному розташуванні (рис. 6.4, *а*), однак у першому випадку є можливість виправити отриманий брак шляхом додаткової обробки. Наприклад, валики з надто великими діаметрами (рис. 6.4, *б*) можна піддати додатковому шліфуванню.

Для зменшення браку при одночасній дії випадкових та систематичних похибок можуть бути здійснені такі заходи:

- підбір більш точного обладнання та методів обробки, що дасть зниження міри розсіювання (σ);
- застосовування інструменту більш зносостійкого, що зменшить зміщення вершини кривої розсіювання;
- введення періодичного піднастроювання верстата (краще, якщо це буде автоматичне піднастроювання).

Визначення ймовірної кількості браку при розподілі розмірів за законом ексцентриситету (Релея)

У випадку визначення ймовірного відсотка браку при розподілі додатних величин, які підкоряються закону Релея (закону ексцентриситету), методика розрахунку повністю збігається з розглянутими вище методиками розрахунку при розподілі за законом Гаусса і функцією a(t).

При розподілі Релея, коли фактичне поле розсіювання перевищує поле допуску, тобто $\Delta_p > T$, можлива поява бракованих заготовок (рис. 6.5).

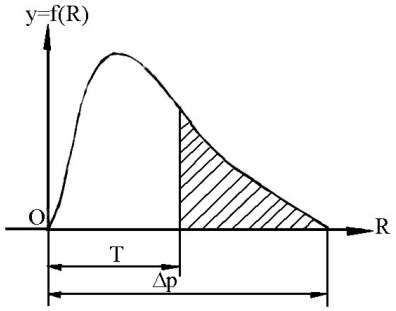


Рис. 6.5. Кількість ймовірного браку (заштрихована площа) при розподілі розміру за законом Релея

Загальну площу F, обмежену кривою розподілу, знаходять за інтегральним законом розподілу ексцентриситету (див. (2.18)):

$$F(R) = \frac{1}{\sigma^2}\int_0^R R e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} dR = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}, \tag{6.23}$$

який після звичайної підстановки величин:

$$t = \frac{x_o}{\sigma} = \frac{R}{\sigma}; \tag{6.24}$$

$$t = 0{,}655\frac{R}{\sigma_R} \tag{6.25}$$

набуває нормованого виду:

$$\Phi(t) = \int_0^t t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \tag{6.26}$$

і табулюється аналогічно функції Лапласа (додаток 5).

Розрахунок кількості придатних і бракованих заготовок у відсотках зводиться до визначення t і Φ(t) аналогічно розглянутим вище прикладам.

Приклад

Розрахувати ймовірний відсоток браку за ексцентриситетом R між двома шийками ступінчастого вала, якщо допуск на биття дорівнює 0,08 мм. В результаті

безперервних вимірювань перших 25 заготовок партії встановлене середнє квадратичне відхилення ексцентриситету $S_R = 0,09$ мм.

Розв'язання

Розрахункове значення середнього квадратичного відхилення ексцентриситету за формулою (2.6) і табл. 2.1:

$$\sigma_R = \gamma S_R = 1,4 \cdot 0,09 = 0,0126 \text{ мм}.$$

Фактичне поле розсіювання значень ексцентриситету за формулою (2.22) дорівнює:

$$\Delta_p = 5,252\sigma_R = 5,252 \cdot 0,0126 = 0,0662 \text{ мм}.$$

Допуск на ексцентриситет, що дорівнює половині поля допуску на биття ($T_R = 0,04$ мм), значно менший фактичного поля розсіювання $T_R < \Delta_p$, тому ймовірне виникнення браку.

При $x_o = T_R$ мм і

$$t = \frac{x_o}{\sigma} = \frac{R}{\sigma} = R :$$

$$\frac{\sigma_R}{0,655} = \frac{0,655 \cdot R}{\sigma_R} = \frac{0,655 \cdot 0,04}{0,0126} = 2,08$$

і у відповідності з додатком 5 $\Phi(t)=0,8851$, тобто кількість придатних заготовок складає 88,51 % і кількість браку 11,49 %.

Визначення кількості заготовок, що потребують додаткової обробки

З цією ситуацією доводиться зустрічатись, коли на заводі немає обладнання необхідної точності та обробку доводиться виконувати на верстаті менш точному, але, як правило, більш продуктивному, наприклад, замість револьверної обробки виконується робота на токарному автоматі. При цьому з економічних міркувань не допускається отримання браку.

В таких випадках настроювання верстата проводять зі свідомим зміщенням m вершини кривої розподілу по відношенню до середини поля допуску з таким розрахунком, щоб весь брак заготовок, який отримується на даній операції, можна було виправити шляхом додаткової обробки заготовок.

В цьому випадку необхідно при обробці валів вершину кривої розподілу змістити на деяку величину m вправо від середини поля допуску (рис. 6.6, *а*), щоб всі вали, що виходять за межі допуску, мали розмір більший за визначений за кресленням і після додаткової операції шліфування могли стати придатними. Аналогічно цьому отвори, що виходять за межі допуску, повинні мати діаметр менший за мінімальний, для чого при настроюванні верстата криву розподілу розмірів отвору потрібно змістити на величину m вліво по відношенню до середини поля допуску (рис. 6.6, *б*).

Величина зміщення визначається за формулою:

$$m = \frac{\Delta_p - T}{2} + \Delta_н = \frac{6\sigma - T}{2} + \Delta_н .$$

Щоб повністю виключити можливість появи невиправного браку, розмір зміщення m вершини кривої розподілу збільшують на величину похибки $\Delta_н$ настроювання. При цьому однак загальна кількість заготовок, що потребують додаткової обробки, помітно зростає.

Кількість заготовок, що потребують доробки (на рис. 6.6 заштрихована площа), визначають аналогічно попередньому за значеннями $x_в$ (для валів) і x_A (для отворів). Згідно з рис. 6.6:

$$x_A = x_в = T - 3\sigma - \Delta_н. \qquad (6.27)$$

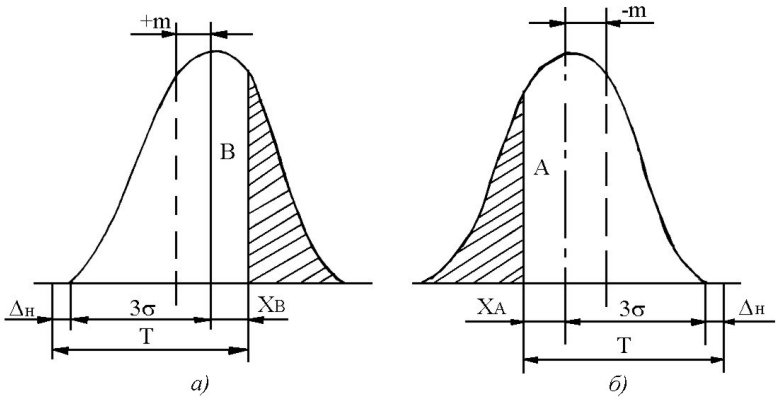


Рис. 6.6. Налагодження верстату для обробки валів (а) та отворів (б) з виправним браком

За величиною $x_A(x_в)$ і формулою (6.10) знаходять $t_A(t_B)$ і за таблицею додатку В розраховують відповідні значення $Ф(t_A)$ або $Ф(t_B)$, що визначають розміри площ А і В.

Кількість заготовок $Q_{дод}$ у відсотках, що потребують доробки, визначається за формулою:

$$Q_{дод} = [0,5 - Ф(t)] \cdot 100\ \%.$$

Приклад

Визначити кількість заготовок, що потребують додаткової обробки при T = 0,1 мм, σ = 0,025 мм, $\Delta_н$ = 0,02 мм.

Розв'язання

За формулою (6.27):

$$x_в = 0,1 - 3 \cdot 0,025 - 0,02 = 0,005.$$

У відповідності з формулою (6.10):

$$t_в = 0,005/0,25 = 0,2.$$

Отже, $Ф(t_в)$ =0,0793 (див. додаток 3). Кількість заготовок, що потребують додаткової обробки, дорівнює:

$$Q_{дод} = [0,5 - 0,0793] \cdot 100 = 42,07\ \%$$ чи 127 штук.

Визначення економічної доцільності застосування високопродуктивних верстатів зниженої точності

Практика показує, що при симетричному розташуванні кривої розподілу розмірів оброблюваних заготовок, кількість бракованих заготовок, що характеризуються площею заштрихованих ділянок, порівняно невелика (рис. 6.2).

Наприклад, при обробці валиків з допуском T = 0,1 мм при σ = 0,025 мм і 6σ = 0,15 мм, тобто у випадку, коли поле розсіювання у 1,5 раза перевищує поле допуску і запас точності $T_n = \frac{T}{6\sigma} = 0{,}67 < 1{,}0$, кількість бракованих заготовок складає всього 4,56 %.

Отже, в ряді випадків можна і доцільно використовувати для обробки точних заготовок високопродуктивні верстати навіть тоді, коли їх точність за розрахунками є недостатньою. При цьому ціною порівняно малих затрат на неминучий брак заготовок можна добитись значного збільшення випуску виробів та зниження собівартості.

При розрахунку економічної доцільності обробки заготовок на більш продуктивному обладнанні зі свідомим допущенням деякої кількості браку заготовок визначають:

- кількість очікуваного браку чи кількість заготовок, що потребують додаткової обробки;
- збитки від браку (внаслідок непродуктивного витрачання металу та втрати часу на попередню обробку і обробку бракованих заготовок на даній операції) або вартість додаткової обробки заготовок, розміри яких виходять за межі допуску;
- зниження собівартості та відповідну економію при обробці заготовок на більш продуктивному обладнанні.

Порівняння збитків від браку або вартості додаткової обробки заготовок з економією від переведення обробки на більш продуктивні верстати дозволяють виявити економічну доцільність застосування високопродуктивних верстатів зниженої точності при виробництві точних заготовок.

Порівняння точності обробки заготовок при різному стані технологічної системи на різних системах, в різних змінах, а також після проведення ремонтів верстатів проводиться за допомогою параметрів законів статичного розподілу $(\bar{x};\sigma)$.

6.2. Забезпечення точності механічної обробки шляхом настроювання технологічних систем

6.2.1. Методи настроювання технологічних систем

Загальні положення

Сучасний стан розвитку теорії технології машинобудування дає можливість при розробці технологічного процесу заздалегідь розрахувати очікувану точність та ймовірну кількість браку при різних варіантах технологічного процесу, розв’язати задачу керування точністю, тобто знизити похибки до рівня лімітованого креслення та ТУ.

Задача керування точністю обробки і зниження її похибок розв’язується за декількома напрямками:

1) точнісні розрахунки і здійснення первісного настроювання верстатів, які

забезпечують мінімальні систематичні похибки, що пов'язані з настроюванням, а також реалізація найбільшого періоду роботи верстатів без піднастроювання;

2) розрахунки режимів різання із врахуванням фактичної жорсткості технологічної системи, при яких забезпечується потрібне уточнення заготовок в процесі їх обробки;

3) точне керування (ручне, автоматичне) процесом обробки та своєчасне піднастроювання верстатів.

В цей же час застосовуються такі методи настроювання верстатів:

- статичне настроювання;
- настроювання за пробними заготовками за допомогою робочого калібру;
- настроювання за пробними заготовками за допомогою універсального вимірювального інструмента.

6.2.2. Статичне настроювання

Метод статичного настроювання полягає у встановленні різальних інструментів по різних калібрах і еталонах на нерухомому верстаті.

Для скорочення часу настроювання встановлюється інструмент по деталі – еталонові або спеціальному калібру, які розташовуються на верстаті на місці оброблюваної заготовки. Інструмент доводиться до стикання з поверхнею калібра і закріплюється. Одночасно встановлюються відповідні упори. При настроюванні верстата для обробки площин заготовок з точними розмірами за установчого калібр часто використовується набір мірних плиток. У ряді випадків для встановлення інструмента застосовуються спеціальні установчі пристрої з індикаторними пристосуваннями.

При статичному настроюванні верстата у зв'язку з деформаціями в пружній технологічній системі, які залежать від дії сил різання, температурного режиму системи та інших факторів, розміри оброблюваної заготовки виявляються більшими (для охоплюваних поверхонь) чи меншими (для охоплюючих поверхонь) від потрібних, тому при виготовленні калібрів на їх розміри вводяться поправки (див. п. 5.6.3).

При настроюванні за еталоном настроювальний розмір визначається за формулою:

$$A_{н}^{розр} = A_{н}^{заг} \pm \Delta_{попр} \begin{cases} + \text{отв} \\ - \text{вал} \end{cases},$$

де $A_{н}^{заг} = \dfrac{A_{min} + A_{max}}{2}$ – розмір заготовки, який повинен бути фактично отриманий після обробки;

$\Delta_{попр} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$ – поправки на розмір еталона (див. вище).

Як показує досвід, похибки визначення самої поправки досягає 50 % її значення. Це не дає можливості настроювати розміри з точністю вище 8–9-го квалітетів.

Незважаючи на врахування поправки на практиці доводиться вводити ще поправку на динаміку процесу. Це – недолік цього методу. Але, незважаючи на це, він все ж таки широко застосовується при налагодженні багаторізцевих автоматів та верстатів з ЧПК завдяки таким його перевагам, як:

- значне скорочення часу налагодження технологічної системи;
- можливість проводити настроювання поза верстатом та ін.

6.2.3. Настроювання за пробними заготовками та за допомогою робочого калібру

При настроюванні технологічної системи за допомогою робочого калібру вважається, що якщо розмір знаходиться в межах допуску, передбаченого робочим калібром, то настроювання виконане вірно. Це не зовсім так, оскільки крива розсіювання, до якої належить розмір пробної заготовки, може займати в середині поля допуску різні положення, і при виготовленні однієї пробної заготовки неможна визначити, якій ділянці поля розсіювання вона відповідає.

Так, наприклад, точки А і В (рис. 6.7) можуть належати кривим 1 і 2, розташування яких виключає можливість появи браку, але можуть також належати і кривим 1а і 2а, які виходять за межі допуску і зв'язані з появою великої кількості браку (заштриховані ділянки).

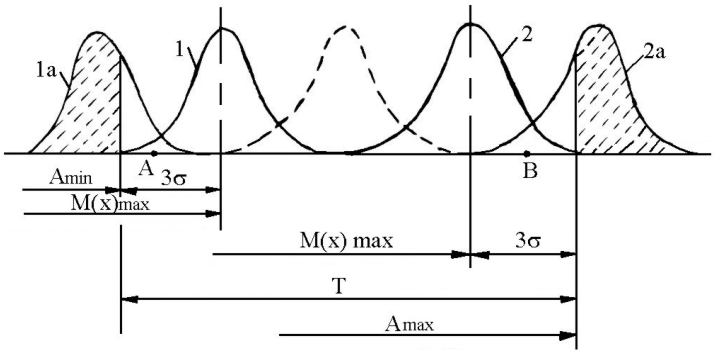


Рис. 6.7. Можливі положення кривих розподілу розмірів відносно поля допуску при $6\sigma \le T$

При збільшенні кількості пробних заготовок ймовірність появи значного браку знижується.

Для виключення небезпеки появи браку у випадку, коли поле допуску перевищує поле розсіювання, тобто $\Delta_p < T$, необхідно за допомогою настроювання забезпечити розташування кривої фактичного розподілу розмірів в середині поля допуску таким чином, щоб її центр групування (математичне очікування M(x)) був віддалений від граничних розмірів не менше, ніж на 3δ (рис. 6.7).

Методом настроювання верстатів за робочим калібром при невеликій кількості пробних заготовок цю задачу розв'язати не можна.

Більш раціональним є метод настроювання верстатів за допомогою універсальних вимірювальних інструментів за звуженими допусками.

6.2.4. Настроювання за пробними заготовками та за допомогою універсального вимірювального інструменту

Сутність цього методу настроювання верстатів полягає в тому, що встановлення різальних інструментів і упорів верстата проводиться на певний робочий налагоджувальний розмір $A_н$, а правильність настроювання встановлюється обробкою якоїсь кількості пробних заготовок. Настроювання признається правильним, якщо середнє арифметичне розмірів пробних заготовок знаходиться в межах якогось допуску $T_н$ на настроювання.

Задачею розрахунку настроювання в цьому випадку є визначення поля допуску настроювання $T_н$.

Теоретичними передумовами цього методу настроювання, запропонованого професором А.Б. Яхіним, є наступні положення теорії ймовірності.

Якщо є якась сукупність (партія) заготовок, розподіл розмірів яких підкоряється закону нормального розподілу Гаусса із середнім квадратичним σ, і якщо цю сукупність заготовок поділити на групи по m штук і визначити середнє арифметичне значення розмірів в середині кожної з цих груп, то розподіл розмірів групових середніх $A^{гр.сер.}$ теж буде підкорятись закону Гаусса із середнім квадратичним:

$$\sigma_1 = \sigma / \sqrt{m} . \qquad (6.28)$$

При цьому центр групування групових середніх збігається з центром групування розмірів усієї партії заготовок (рис. 6.8).

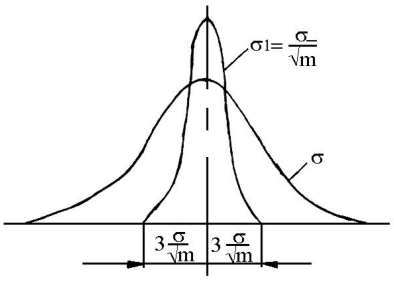


Рис. 6.8. Розподіл розмірів партії заготовок з середнім квадратичним σ і розподіл групових середніх з середнім квадратичним $\sigma_1 = \sigma / \sqrt{m}$.

Нехтуючи зношуванням інструмента, можна вважати, що середнє арифметичне розмірів m пробних заготовок може відрізнятись від середнього арифметичного усієї сукупності (партії) заготовок не більше ніж на $3\sigma / \sqrt{m}$.

Розрахунок настроювання без врахування змінних систематичних похибок

Якщо центр групування розмірів пробних заготовок розташовується по відношенню до граничних розмірів партії заготовок ближче, ніж на відстані 3σ (точка M на рис. 6.9, *а*), то частина загальної кривої розсіювання розмірів обробленої партії заготовок може вийти за межі допуску і виникає небезпека появи браку. Навіть якщо

ця відстань трохи більша 3σ (точка М на рис. 6.9, *б*), то брак оброблених заготовок можливий, оскільки точка М може належати кривій групових середніх, центр групування яких (а отже, і центр групування розмірів усієї партії заготовок) зміщений на величину Р вліво (рис. 6.9, *б*) від потрібного положення кривої, яке виключає можливість браку.

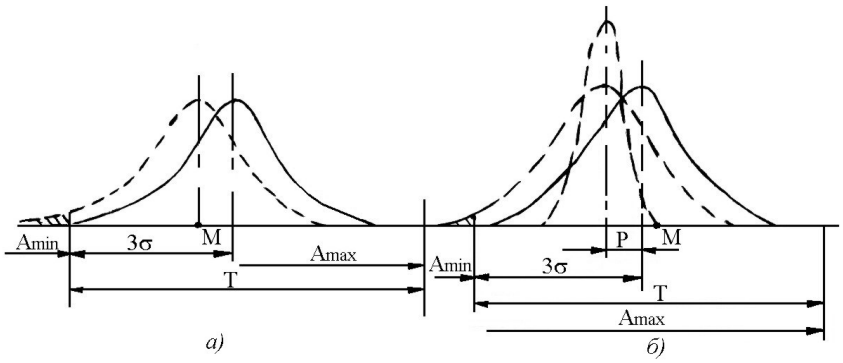


Рис. 6.9. Випадки можливого браку при 6σ < T
(можливий брак показаний штриховою лінією)

Брак неможливий тільки в тому випадку, коли мінімальний розмір групових середніх пробних заготовок, який визначає положення точки М (рис. 6.10) задовольняє умові:

$$A_{min}^{гр.сер} \geq A_{min} + 3\sigma + 3\sigma / \sqrt{m} . \qquad (6.29)$$

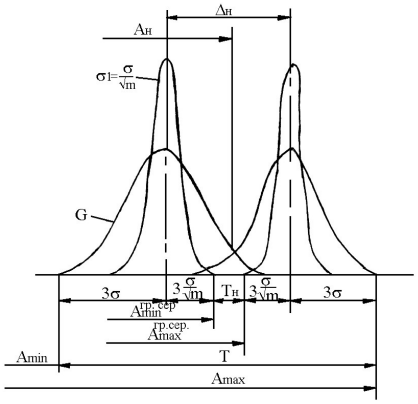


Рис. 6.10. Вірне настроювання верстата, яке виключає можливість браку

Очевидно, що при такій умові навіть в тому випадку, коли центр групування групових середніх розташовується на відстані $3\sigma / \sqrt{m}$ лівіше точки М, він лежить на відстані від границі найменшого граничного розміру заготовки на величину 3σ і брак неможливий.

Аналогічно сказаному:

$$A_{max}^{гр.сер} \le A_{max} - 3\sigma - 3\sigma/\sqrt{m}\ . \qquad (6.30)$$

Різниця граничних значень групових середніх розмірів визначає величину допуску настроювання, тобто:

$$T_н = A_{max}^{гр.сер} - A_{min}^{гр.сер}.$$

Очевидно, що допуск настроювання $T_н$ виражається формулою:

$$T_н = T - 6\sigma\left(1 + 1/\sqrt{m}\right). \qquad (6.31)$$

і залежить від загального допуску на обробку партії заготовок та від кількості m пробних заготовок.

Збільшення кількості пробних заготовок дозволяє розширити допуск настроювання $T_н$ і полегшити процес настроювання, але це веде до зростання часу обробки.

У загальному випадку:

$$m > [6\sigma/(T - 6\sigma)]^2. \qquad (6.32)$$

За даними професора А.Б. Яхіна, кількість пробних заготовок може бути прийнята від двох до восьми. Подальше їх збільшення неефективне.

У відповідності з формулою (6.1) умову обробки заготовок без браку за відсутності впливу систематичних похибок із врахуванням рівняння (6.31) можна представити у вигляді формули:

$$6\sigma\left(1 + 1/\sqrt{m}\right) + T_н < T\ . \qquad (6.33)$$

В загальному випадку, коли систематичні похибки чинять суттєвий вплив на точність обробки заготовок, умова обробки заготовок без браку набуває вид:

$$6\sigma\left(1 + 1/\sqrt{m}\right) + T_н + \Delta_{сист} < T\ . \qquad (6.34)$$

Необхідно відмітити, що введена в вирази (6.31)–(6.33) величина допуску настроювання $T_н$ не збігається з похибкою настроювання $\Delta_н$, розрахованою за формулою п. 5.6.3. На рис. 6.10 показано, що похибка настроювання, яка визначається за формулою:

$$\Delta_н = 1{,}2\sqrt{\Delta_{рег}^2 + \Delta_{вим}^2 + \Delta_{зміщ}^2}\ , \qquad (6.35)$$

визначає відстань між крайніми допустимими положеннями вершин кривих при настроюванні.

Допуск $T_н$ настроювання представляє собою дозволене коливання значень групових середніх, яке викликається похибками регулювання та вимірювання, і є частиною загальної похибки настроювання.

В залежності від похибок регулювання та вимірювання допуск настроювання можна визначити за формулою:

$$T_н = 1{,}2\sqrt{\Delta_{рег}^2 + \Delta_{вим}^2}\ . \qquad (6.36)$$

Як виходить з рис. 6.10 формул (6.35) і (6.36), допуск $T_н$ на настроювання менший загальної похибки $\Delta_н$ настроювання на величину $\Delta_{зміщ.} = 6\sigma/\sqrt{m}$, яка представляє собою поле ймовірного зміщення положення вершини кривої розсіювання розмірів групових середніх пробних заготовок.

Розглянутий метод розрахунку настроювання верстатів застосовується при обробці точних заготовок, коли поле допуску несуттєво перевищує розсіювання розмірів, що робить неможливим передбачити заздалегідь компенсацію змінних

систематичних похибок обробки (наприклад, зношування інструмента). Цей метод можна приймати також при обробці заготовок, коли зношування інструменту несуттєво (наприклад, при алмазній обробці кольорових сплавів), а також при обробці невеликих партій заготовок, коли зношування різального інструменту в середині оброблюваної партії настільки невелике, що не може суттєво впливати на точність обробки. У всіх цих випадках задача настроювання верстата зводиться до забезпечення суміщення вершини кривої фактичного розподілу розмірів із серединою поля допуску, тобто:

$$M(x) = M(c).$$

При цьому настроювальний розмір визначається за виразом:

$$A_н = \frac{A_{min} + A_{max}}{2} \pm 0{,}5T_н . \qquad (6.37)$$

Розрахунок настроювання із врахуванням змінних систематичних похибок

У процесі обробки великих партій заготовок, коли процес супроводжується інтенсивним зношуванням різального інструменту, при настроюванні виникає задача найбільш раціонального розташування кривої розсіювання у полі допуску з метою використання значної частини цього поля для компенсації змінних систематичних похибок обробки. Таким чином вдається збільшити термін роботи верстата без піднастроювання, а отже, й підвищити продуктивність.

На рис. 6.11 наведена схема раціонального настроювання верстата для забезпечення заданої точності охоплюваного розміру. Із рисунка видно, що деяка частина $T_н$ загального поля допуску T використовується для компенсації похибок настроювання ($T_н = \Delta_н$), які визначаються за формулою (6.36).

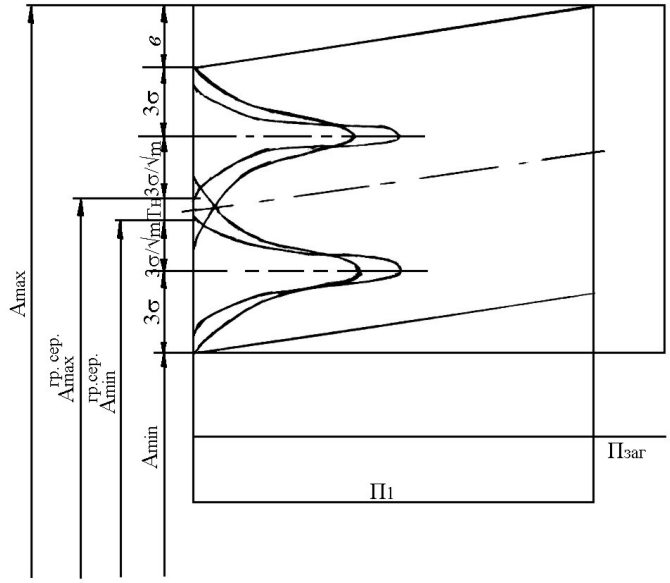


Рис. 6.11. Налагодження верстата із врахуванням змінних систематичних похибок

Друга частина загального поля допуску призначається для компенсації випадкових похибок, які викликають розсіювання розмірів. Як вказувалося раніше, вона визначається величиною:

$$6\sigma\left(1+1/\sqrt{m}\right).$$

Решта в загального поля допуску використовується для компенсації похибок, які породжуються сукупною дією систематично діючих факторів, постійних за величиною і змінюваних у часі за певними законами (наприклад, зношування різального інструменту).

У процесі обробки партії заготовок у зв'язку із зношуванням різального інструменту відбувається зміна положення кривої розсіювання. Після обробки деякої кількості n_1 заготовок крива розсіювання розмірів заготовок перетинає лінію найбільшого граничного розміру і виникає небезпека появи браку. В цей момент потрібно провести піднастроювання верстата, при якому крива розсіювання повернеться вниз у своє початкове положення, яке було створене початковим настроюванням.

При такому настроюванні, очевидно, не можна визначати настроювальний груповий середній розмір за величиною середнього арифметичного, а необхідно обчислити його за значеннями граничних розмірів.

Щоб уникнути одержання при обробці заготовок з розмірами менше A_{min}, необхідно (рис. 6.11), щоб мінімальне значення групового середнього розміру задовольняло умову:

$$A_{min}^{гр.сер} = A_{min} + 3\sigma\left(1+1/\sqrt{m}\right). \qquad (6.37)$$

За наявності суттєвого впливу змінних систематичних похибок, які зменшують розміри охоплюваних заготовок (наприклад, при значному видовженні різця від нагрівання у початковий період різання), у формулу (6.37) необхідно додатково ввести можливу величину похибки а, тобто:

$$A_{min}^{гр.сер} = A_{min} + a + 3\sigma\left(1+1/\sqrt{m}\right). \qquad (6.38)$$

В багатьох випадках обробки заготовок (особливо за наявності охолодження) значення а дуже мале, і розрахунок найменшого налагоджувального розміру провадять за формулою (6.37).

Формула для розрахунку максимального значення групового середнього розміру (із врахуванням частини допуску в, який використовується для компенсації змінних систематичних похибок) має вигляд:

$$A_{max}^{гр.сер} = A_{max} - в - 3\sigma\left(1+1/\sqrt{m}\right). \qquad (6.39)$$

Допуск на настроювання визначається різницею граничних значень групових середніх розмірів:

$$T_н = A_{max}^{гр.сер} - A_{min}^{гр.сер}$$

і після перетворень приводиться до вигляду:

$$T_н = T - 6\sigma\left(1+1/\sqrt{m}\right) - в\ . \qquad (6.40)$$

Отже, при збільшенні $T_н$ з метою спрощення та прискорення настроювання за інших рівних умов доводиться скорочувати величину в, що призводить до зростання кількості необхідних піднастроювань і знижує продуктивність операції.

У зв'язку з цим розширення поля допуску на настроювання звичайно доцільно за умови зміни інших факторів, що входять у наведений вираз, зокрема при розширенні загального поля допуску T чи зменшенні розсіювання 6σ.

З формули (5.42) видно, що збільшення $T_н$ краще робити за рахунок збільшення T та зменшення 6σ.

Одержана формула (6.40) відрізняється від виразу (6.31) тим, що при врахуванні змінних систематичних похибок допуск на настроювання $T_н$ зменшується на величину *в*, призначену для компенсації впливу цих похибок на точність розмірів.

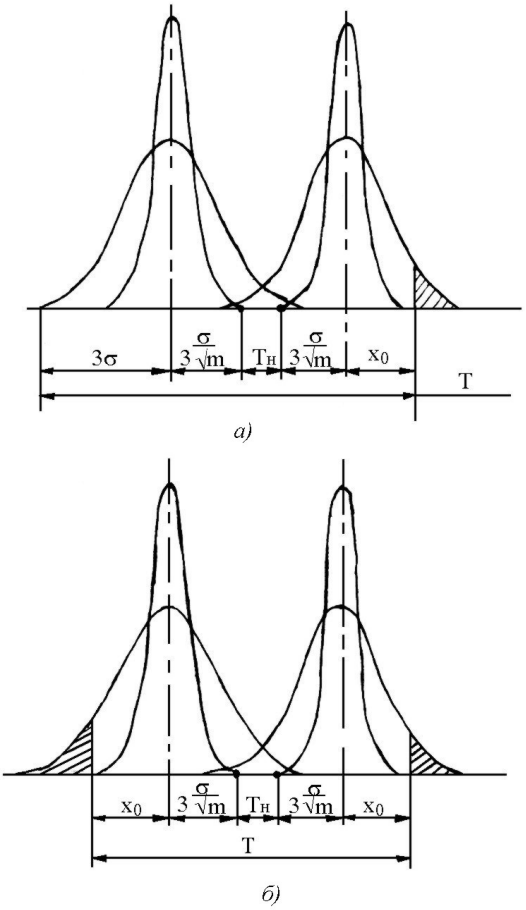


Рис. 6.12. Настроювання верстата для обробки з ймовірним браком, яке враховує похибки настроювання: а – брак, який може бути виправлений; б – брак, який може бути виправлений і невиправлений

При розрахунку настроювання верстата для випадку обробки вала із врахуванням змінних систематичних похибок зручно дотримуватись наступної послідовності:

1) за формулою (6.37) визначається $A_{min}^{гр.сер}$;

2) за формулою (6.40) обчислюється мінімально необхідна для умов даної операції величина $T_н$;

3) значення $A_{max}^{гр.сер}$ визначається за формулою:

$$A_{max}^{гр.сер} = A_{min}^{гр.сер} + T_н \qquad (6.41)$$

4) частина допуску $в$, призначена для компенсації зношування інструменту, визначається з формули (6.40) за співвідношенням:

$$в = T - 6\sigma\left(1 + 1/\sqrt{m}\right) - T_н .$$

При заданому в значення $A_{max}^{гр.сер}$ знаходиться з виразу (6.39).

Якщо умова (6.34) обробки заготовок без браку не виконана і сума випадкових і систематичних похибок виявляється більшою поля допуску, тобто:

$$6\sigma\left(1 + 1/\sqrt{m}\right) + T_н + \Delta_{сист} > T ,$$

то при обробці заготовок можливий брак.

За відсутності можливості підвищити точність операції, настроювання верстата необхідно проводити з таким розрахунком, щоб одержаний брак був виправним при подальшій обробці заготовок (рис. 6.12, *а*).

Якщо виправити брак неможливо, настроювання верстата необхідно проводити із врахуванням одержання мінімальної кількості можливого остаточного браку (рис. 6.12, *б*).

Кількість можливого браку в цьому випадку визначається за формулами (6.16)–(6.20). При цьому x_o обчислюється за формулою:

$$2x_o = T - T_н - 6\sigma\sqrt{m} .$$

Рішення про настроювання верстата з чітко технічно можливим виправним чи невиправним браком можна прийняти тільки на основі точного розрахунку економічної доцільності даного варіанта обробки.

6.2.5. Настроювання металорізального обладнання на заданий рівень

Теоретичні положення про настроювання верстатів, що наведені у попередніх пунктах, в умовах реального виробництва застосовуються за допомогою діючих стандартів.

За державним стандартом рівень настроювання (розрахунковий настроювальний розмір) визначається зі схем, наведених на рис. 6.13 та 6.14.

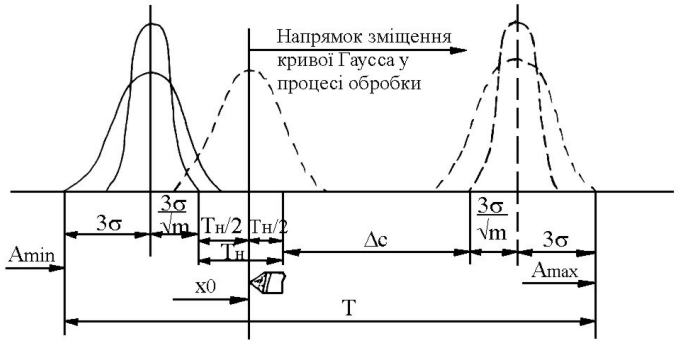


Рис. 6.13. Розрахункова схема для визначення рівня настроювання X_0 *при обробці деталей типу валів*

При зміщенні у процесі обробки рівня настроювання до максимально допустимого розміру (рис. 6.13) рівень настроювання визначається за формулою:

$$X_o = A_{max} - 3\sigma - \frac{3\sigma}{\sqrt{m}} - \Delta_c - \frac{T_н}{2},$$

де Δ_c – допустиме зміщення рівня настроювання у процесі обробки.

При зміщенні у процесі обробки рівня настроювання до мінімального допустимого розміру (рис. 6.14) рівень настроювання визначається за формулою:

$$X_o = A_{min} - 3\sigma + \frac{3\sigma}{\sqrt{m}} + \Delta_c + \frac{T_н}{2}.$$

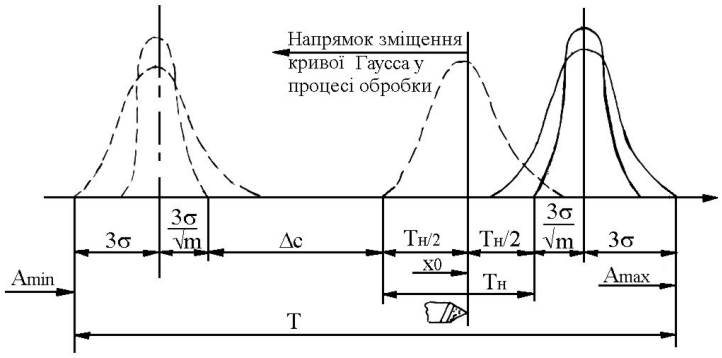


Рис. 6.14. Розрахункова схема для визначення рівня настроювання X_0 *при обробці поверхонь типу отворів*

Зміщення рівня настроювання Δ_c є аналогом запасу поля допуску в у формулі (6.40), призначеного для компенсації впливу змінних систематичних похибок.

Величина Δ_c розраховується виходячи з припущення, що вона взагалі обумовлена розмірним спрацюванням різального інструменту.

Тоді при точінні:

$$\Delta_c = 2i = 2i_o \frac{\pi dLN}{10^2 S};$$

при торцевому фрезеруванні:

$$\Delta_c = i = i_o \frac{LBN}{10^2 S_n},$$

де N – число деталей в партії;

d, L, B – розміри поверхонь, мм;

S, S_n– подача, мм/об;

i_o – інтенсивність зношування інструменту, мкм/км.

Якщо розрахункова величина Δ_c виявляється дуже великою і не залишається достатнього допуску на настроювання, то діють у такій послідовності:

1) визначають достатній допуск на настроювання $T_н$, виходячи з досвіду (2–3 поділки шкали вимірювального інструменту, що застосовується при настроюванні);

2) визначають поле розсіювання розмірів верстата (6σ) на якому буде проводитись обробка;

3) приймають фіксоване число пробних заготовок m;

4) знаходять величину $6\sigma / \sqrt{m}$;

5) розраховують реальний запас поля допуску розмірів заготовок на зношування різального інструменту Δ_c = в;

6) уточнюють розміри оброблюваних поверхонь, режими різання та інтенсивність зношування інструменту;

7) розраховують число заготовок, які можна обробити без піднастроювання технологічної системи, і дають відповідні вказівки у карті налагодження верстата.

Для точіння такий розрахунок виконується за наведеними нижче формулами.

Розмірне зношування інструменту на одній заготовці дорівнює:

$$i^1 = \frac{i_o \pi dL}{10^6 S} \text{ мкм.}$$

Запас поля допуску на розмірне зношування різального інструменту рівне:

$$\Delta_c = T - 6\sigma - \frac{6\sigma}{\sqrt{m}} - T_н \text{ мкм.}$$

Допустиме розмірне зношування інструмента у межах Δ_c:

$$i_д = \frac{\Delta_c}{2} \text{ мкм.}$$

Число заготовок, які можна обробити без піднастроювання технологічної системи, дорівнює:

$$n = \frac{i_д}{i^1}.$$

Величина n округляється до найближчого меншого цілого числа.

6.3. Керування точністю обробки

6.3.1. Керування точністю процесу обробки за вихідними даними

Для забезпечення потрібної точності обробки партії заготовок недостатньо правильно розрахувати і настроїти верстат.

Під впливом систематичних похибок, зв’язаних зі зношуванням різального інструменту і нагріванням елементів технологічної системи, в процесі обробки відбувається зміщення поля розсіювання розмірів заготовок в середині поля допуску із положення а в положення б (рис. 6.15) і через деякий проміжок часу t обробки виникає небезпека виходу частини заготовок за межі поля допуску. Для запобігання появи браку через певний проміжок часу t_2 необхідно провести піднастроювання (підналагодження) верстата.

У результаті підналагодження поле розсіювання вертається із положення б в положення а і небезпека появи браку усувається (рис. 6.15).

Для запобігання появи браку важливо своєчасно встановити момент потрібного піднастроювання і тривалості обробки між підналагодженнями.

Цей момент в умовах великосерійного виробництва виявляється за допомогою систематичних вимірювань оброблюваних заготовок.

Чим частіше проводиться підналагодження, тим менше сумарне розсіювання розмірів, але це призводить до збільшення тривалості процесу, оскільки

підналагодження – процес тривалий і виконується при непрацюючому обладнанні.

Протиріччя це розв'язується шляхом введення автопідналадників.

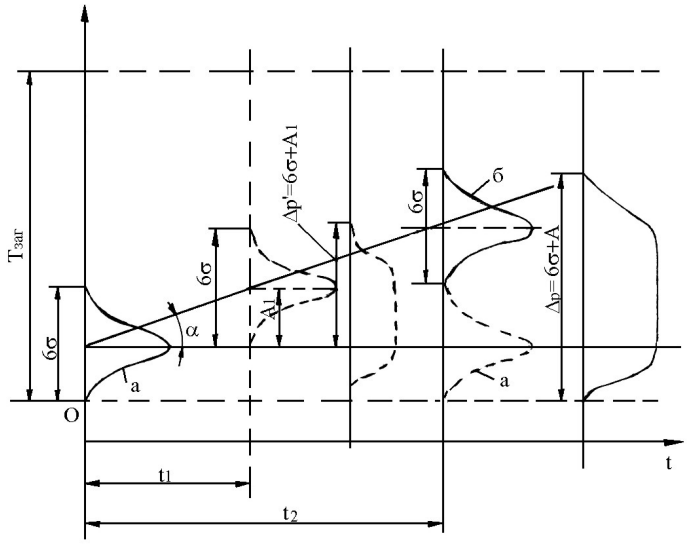


Рис. 6.15. Вплив змінних систематичних похибок на форму і положення кривої розсіювання

Підналадники застосовують двох типів:

1) видає сигнал переміщення інструмента через певний проміжок часу (простий, але застосувати можна тільки при сталому технологічному процесі);

2) вимірює дійсні розміри і подає сигнал на підналагодження при досягненні граничного розміру (складні, але більш надійні).

Загальною трудністю створення пристосувань автоматичного контролю є необхідність здійснення малих переміщень інструмента в момент підналагодження (тисячні частки мм).

Інерційність мас, сили тертя, недостатня точність існуючих передач надто ускладнює задачу створення точних і надійних систем автоматичного регулювання оброблюваних розмірів за вихідними даними.

6.3.2. Керування точністю процесу обробки заготовок за вхідними даними

Найбільше впливає на поле розсіювання розмірів заготовок зміна таких вхідних даних, як розміри припуску і твердість матеріалу заготовки, які обумовлюють відповідне зростання діапазону зміни зусиль різання, а також пружних відтискань і поля розсіювання розмірів оброблюваних заготовок.

Шляхи зменшення поля розсіювання:

– сортування заготовок за величиною припуску і твердості та внесення поправок на розмір статичного настроювання;

– адаптивне керування процесом обробки (зміна $S – P_y – \omega$).

Приклад

Рис. 6.16 – заготовка НВ 145–165; верстат – 1А62; різець – φ = 45º; Т15К6; V = 45м/хв; припуск – 4–8 мм на діаметр.

S – для перших 9 штук – const = 0,24 мм/об; $\Delta_{заг}$ = 0,155 мм; S – для решти 9 штук – змінна; $\Delta_{заг}$ = 0,045 мм.

Зменшення Δ у 3,45 раза.

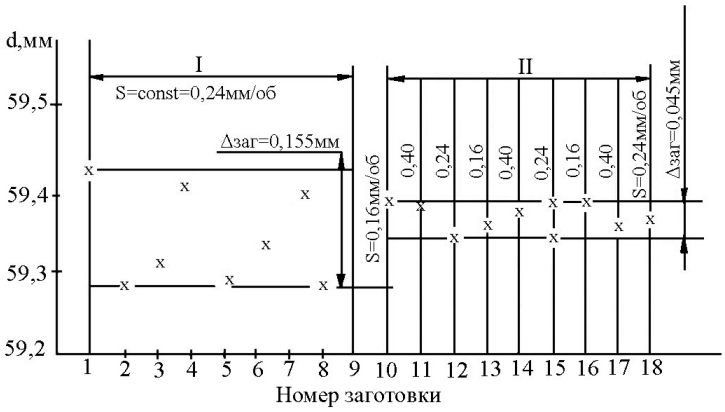


Рис. 6.16. Підвищення точності розміру заготовки, оброблюваної на токарному верстаті, шляхом зміни подачі

6.3.3. Керування пружними переміщеннями елементів технологічної системи для усунення систематичних та змінних систематичних похибок, які викликають похибки геометричної форми заготовок

Регулювання подачі в процесі обробки заготовок дає можливість не тільки зменшити поле розсіювання розмірів оброблюваних заготовок, але й підвищити точність їх геометричної форми.

Для одержання правильної геометричної форми оброблюваної заготовки необхідно компенсувати не тільки коливання сили різання, викликані непостійністю припуску і твердості, але й пружні відтискання по її довжині, зв'язані зі зміною піддатливості технологічної системи.

Для забезпечення точності геометричної форми по довжині заготовки потрібно створити додаткове пристосування, яке б змінювало силу різання по довжині обробки за певною програмою відповідно до коливання жорсткості технологічної системи.

Зміну сили різання і в цьому випадку зручно здійснити за рахунок відповідного регулювання поздовжньої подачі.

На верстатах з ЧПК подібні зміни подачі по довжині оброблюваної заготовки повинні бути попередньо внесені в КП (керуючу програму).

Приклад (рис. 6.17)

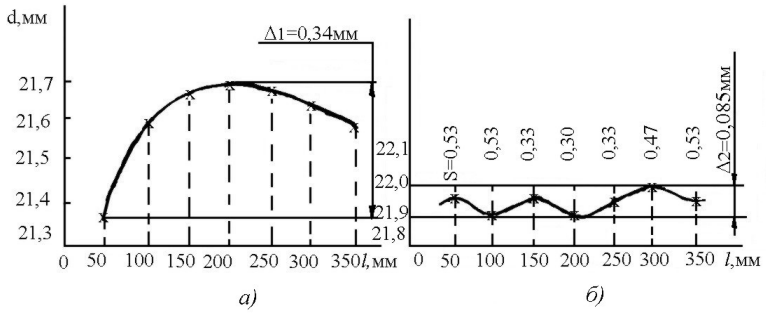


Рис. 6.17. Зміна діаметра d валика по довжині в результаті обточування з частотою обертання n = 375 об/хв із припуском Z = 2 мм на діаметрі: а – з постійною подачею (S = 0,3 мм/об); б – зі змінною подачею

n = 375 об/хв; z = 2 мм;

S = 0,3 мм/об; Δ = 0,34 мм;

S = 0,30–0,53 мм/об; Δ = 0,085 мм.

Таким чином, можна зробити висновок, що керування пружними переміщеннями шляхом зміни поздовжньої подачі дозволяє:

1) суттєво підвищити точність оброблюваних заготовок та інших показників за рахунок зменшення поля розсіювання;

2) збільшити штучну продуктивність переважної більшості технологічних систем (за рахунок режимів);

3) використати надзвичайно тонкий і чутливий механізм регулювання технологічної системи, який працює без стрибків, зі збереженням постійного розміру статичного настроювання;

4) забезпечити обробку заготовок з рівномірним навантаженням технологічної системи, що сприяє більш економічному використанню системи і різального інструмента, підвищує довговічність роботи системи і знижує затрати на різальний інструмент.

Недоліки:

1) шорсткість поверхні неоднорідна;

2) зростає вартість верстатів, оснащених системами адаптивного керування;

3) ускладнення та подорожчання налагодження, обслуговування і ремонту;

4) неможливість застосування при багатоінструментальній обробці.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Охарактеризуйте ймовірносно статистичний метод дослідження та розрахунку точності технологічних процесів.

2. Які розрахунки можна виконати при аналізі технологічних процесів за допомогою законів розподілу розмірів?

3. Як вибирається метод обробки?

4. Для обробки без браку які умови потрібно виконати?

5. Як визначається кількість ймовірного браку при розподілі розмірів за нормальним законом?

6. Як визначається кількість ймовірного браку при розподілі розмірів за функцією a(t)?

7. Як визначається кількість ймовірного браку при розподілі розмірів за законом Релея?

8. Як визначається кількість заготовок, що потребують додаткової обробки?

9. Як визначається економічна доцільність застосування високопродуктивного обладнання пониженої точності?

10. Що розуміють під настроюванням та підналагодженням технологічної системи?

11. Розкрийте сутність статичного та динамічного настроювання технологічної системи.

12. Назвіть методи настроювання технологічних систем, дайте їх коротку характеристику, назвіть їх переваги та недоліки.

13. В чому полягає суть настроювання технологічної системи за пробними заготовками та за допомогою робочого калібру?

14. В чому полягає суть настроювання технологічної системи за пробними заготовками та за допомогою універсального вимірювального інструмента? Його переваги та недоліки.

15. Як розраховується допуск на настроювання технологічної системи без врахування систематичних похибок?

16. Сформулюйте умови роботи без браку при настроюванні технологічної системи без врахування систематичних похибок.

17. Як розраховується допуск на настроювання технологічної системи із врахуванням систематичних похибок?

18. Сформулюйте умови роботи без браку при настроюванні технологічної системи із врахуванням систематичних похибок.

19. Що таке рівень настроювання? Як він визначається? Дайте характеристику складових формули рівня настроювання.

20. В якій послідовності треба діяти при розрахунку рівня настроювання, якщо розрахункова величина Δ_c виявляється дуже великою і не залишається достатнього допуску на настроювання?

21. Які існують найбільш поширені методи керування точністю обробки?

22. Розкрийте суть керування точністю процесу обробки заготовок за вихідними даними.

23. Розкрийте суть керування точністю процесу обробки заготовок за вхідними даними.

24. Які параметри в процесі обробки заготовок треба змінювати для усунення похибок геометричної форми і як це здійснюється на практиці?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М., 1969. – 559 с.
2. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К. 1993. – 544 с.
3. Корсаков В.С. Основы технологии машинобудування. – М., 1977. – 415 с.
4. Косилова А.Г., Мещеняков Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1. – М., 1985. – 655 с.; Т. 2. – М., 1986. – 496 с.
5. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М., 1985 – 496 с.
6. Руденко П.А. Теоретические основы технологии машиностроения: Конспект лекций. – Чернигов, 1986. – 258 с.
7. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения / В.А. Аверников, О.А. Горленко, В.Б. Ильецкий и др. / Под общ. ред. О.А. Горленко – М., 1988. – 192 с.
8. Справочник технолога машиностроителя / Под ред. А.Н. Малова. Т. 2. – М., 1986. – 446 с.

Тема 7. Якість поверхонь деталей машин та її технологічне забезпечення

7.1. Параметри, які характеризують якість поверхні

Один із основних показників якості машин – надійність – суттєво залежить від експлуатаційних властивостей їх деталей і з'єднань, які визначаються технологією виготовлення.

Надійність деталі багато в чому залежить від стану поверхневих шарів, оскільки руйнування починається якраз із зовнішніх поверхонь. Вимоги до їх якості безперервно підвищуються в міру інтенсифікації режимів роботи деталей.

Якість поверхні – це комплексний показник, що характеризується фізико-механічними і геометричними параметрами поверхневого шару.

7.1.1. Фізико-механічні параметри

До фізико-механічних параметрів відносять: твердість; деформаційне зміцнення (наклеп); залишкові напруження.

Твердість – це здатність поверхні чинити опір проникненню більш твердого тіла.

Розрізняють твердість вихідного матеріалу (серцевини) і поверхневого шару. З точки зору експлуатації деталей, більший інтерес викликає твердість поверхневого шару, яка звичайно вища твердості серцевини.

Зміцнення поверхневого шару відбувається на фінішних операціях та операціях що їм передують (технологічна спадковість).

В лабораторних умовах глибину та інтенсивність зміцнення поверхневого шару визначають методом вдавлювання алмазної піраміди на приладі ПМТ-3. У виробничих умовах твердість матеріалу вимірюють за Брінелем, Роквеллом, Вікерсом та іншими способами. При застосуванні методу Роквелла застосовують твердоміри Супер-Роквелла. Співвідношення чисел твердості, визначених різними методами, наведені в табл. 7.1.

Наклеп характеризується наступними показниками:

- товщиною наклепаного шару h' (це – глибина шару, здеформованого в результаті силової взаємодії інструмента з оброблюваною поверхнею);
- інтенсивністю наклепу, яка визначається відношенням мікротвердості $H_{\mu п}$ досліджуваної поверхні до мікротвердості матеріалу, розташованого під наклепаним шаром (рис. 7.1): $H_{\mu\ с}$; $I = H_{\mu п}/H_{\mu с}$.

Залишкові напруження характеризують: величина, характер розподілу і знак внутрішніх напружень.

Внутрішні напруження – це прояв внутрішніх сил у поверхневих шарах металу після закінчення силової чи теплової дії. Вони можуть бути розтягуючими і стискаючими (рис. 7.2).

Таблиця 7.1

Порівнювальна таблиця твердості металів і сплавів

твердість по													
Бринелю	Віккерсу	Бринелю	Віккерсу	Роквеллу	Супер Роквеллу	Брине ллю	Віккерсу	Роквеллу	Супер Роквеллу	Бринелю	Вік керсу	Роквеллу	Супер Роквеллу
146	147	202	201	–	–	293	291	31	32,9	460	502	48	49,3
149	149	207	209	18	20,2	302	305	33	34,8	477	534	49	50,3
153	152	212	213	19	21,2	311	312	34	35,8	495	551	51	52,2
156	154	217	217	20	22,2	321	320	35	36,8	512	587	52	53,2
159	159	223	221	21	23,1	332	335	36	37,7	532	606	54	55,2
163	162	229	226	22	24,0	340	344	37	37,7	555	649	56	57,1
166	165	235	235	23	25,0	351	361	38	39,6	578	694	58	59,0
170	171	241	240	24	26,0	364	380	39	40,6	600	746	59	60,0
174	174	248	250	25	27,0	375	390	40	41,6	627	803	61	62,0
179	177	255	255	20	28,0	387	401	41	42,5	652	887	63	64,1
183	183	262	261	27	39,0	402	423	43	44,0	–	940	65	65,8
187	186	269	272	28	30,0	418	435	44	45,4	–	1021	67	67,8
192	190	277	278	29	31,0	430	460	45	46,4	–	1114	69	–
196	197	286	285	30	31,9	444	474	47	48,4	–	1220	72	–

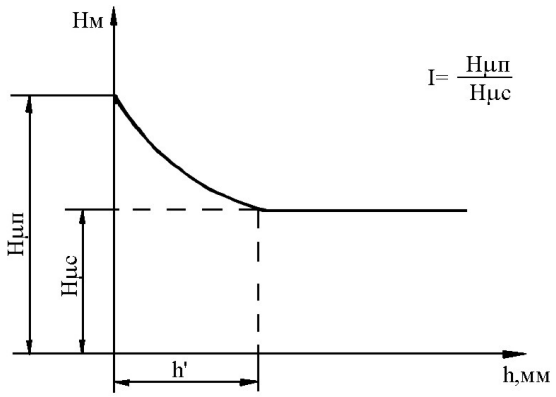


Рис. 7.1. Глибина h *та інтенсивність наклепу* I

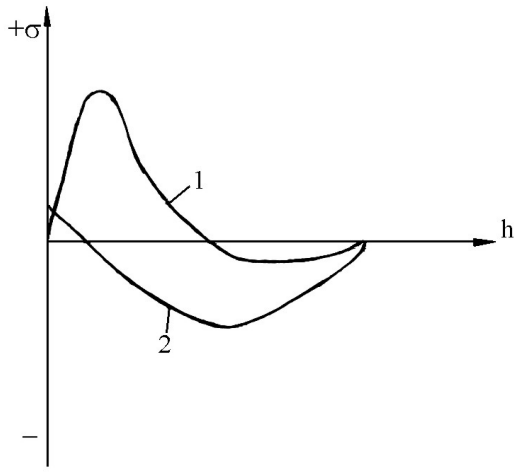


Рис. 7.2. Розподіл внутрішніх напружень у поверхневому шарі:
1 – *стискаючі напруження;* 2 – *розтягуючі напруження*

Глибина та інтенсивність наклепаного шару, а також внутрішні напруження на кресленнях не вказуються головним чином через відсутність надійних методів контролю цих параметрів у виробничих умовах. Шорсткість і твердість завжди вказуються на робочих кресленнях.

Крім переліченого, фізико-механічні властивості поверхневого шару характеризуються певною орієнтацією їх деформованих зерен, зміною їх форми і розмірів, цілісністю матеріалу поверхневого шару, наявністю в ньому макро- і мікротріщин, структурними перетвореннями тощо.

7.1.2. Геометричні параметри

До геометричних параметрів відносять: макро- та мікрогеометрію поверхні, хвилястість.

Макрогеометрія поверхні характеризується похибками форми (овальність, конусність, бочкоподібність), які відносяться до параметрів точності обробки.

Мікрогеометрія поверхні (шорсткість) обумовлена наявністю мікронерівностей, які є результатом взаємодії оброблюваної поверхні з різальним інструментом на фінішних операціях.

Шорсткість прийнято визначати за профілем, який утворюється в перерізі цієї поверхні площиною, перпендикулярною до номінальної (зображеної на кресленні) поверхні. При цьому профіль розглядається на довжині базової лінії, яка використовується для виділення нерівностей і кількісного визначення їх параметрів.

При стандартизації шорсткості поверхні за основу прийнята система відліку, в якій за базову лінію служить середня лінія профілю.

Середня лінія профілю – це базова лінія, що має форму номінального профілю і проведена так, що в межах базової довжини *l* середнє квадратичне відхилення профілю до цієї лінії мінімальне.

Лінія, яка еквідистантна середній лінії і проходить через найвищу точку профілю в межах базової довжини, називається *лінією виступів профілю*. Лінія, яка еквідистантна середній лінії і проходить через нижню точку профілю в межах базової довжини, називається *лінією западин профілю*.

Відстань між лінією виступів профілю та лінією западин профілю в межах базової довжини представляє собою *найбільшу висоту нерівностей профілю* R_{max}.

Висота виступу профілю $У_{pm}$ – це відстань від середньої лінії профілю до найвищої точки виступу профілю.

Глибина западини профіля $У_{vm}$ – це відстань від середньої лінії профілю до найнижчої точки западини профілю.

Нерівність профілю – це виступ профілю та сполучена з ним западина профілю.

Крок нерівностей профілю – це довжина відрізка середньої лінії профілю, що містить виступ профілю та сполучену з ним западину профілю (рис. 7.3).

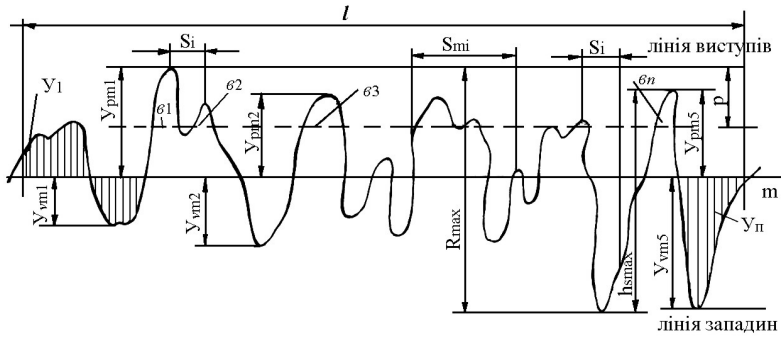


Рис. 7.3. Схема вимірювання нерівностей

Середній крок нерівностей профілю S_m – це середнє значення кроку нерівностей профілю по середній лінії в межах базової довжини.

Кроком місцевих виступів називається довжина відрізка середньої лінії між проекціями на неї двох найвищих точок сусідніх місцевих виступів профілю.

Середнім кроком S_i місцевих виступів профілю називається середнє значення кроку місцевих виступів в межах базової довжини.

Для оцінки шорсткості поверхні в машинобудуванні одержав велике поширення висотний критерії R_z.

Висота нерівностей профілю по десяти точках R_z представляє собою суму середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини, тобто (рис. 7.3) [2]:

$$R_Z = \frac{1}{5}\left(\sum_1^5 \left| У_{pm_i} \right| + \sum_1^5 \left| У_{vm_i} \right| \right),$$

де $У_{pm_i}$ – висота і-го найбільшого виступу профілю;

$У_{vm_i}$ – глибина і-ої найбільшої западини профілю.

Таке ж велике значення в машинобудуванні при оцінці шорсткості поверхні має і критерій R_a.

Середнє арифметичне відхилення R_a *профілю* – це середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини ℓ:

$$R_a = \frac{1}{\ell}\int_0^{\ell} |y| dx$$

або приблизно:

$$R_a = \frac{1}{n}\sum_1^n |y_i|,$$

де y – відхилення профілю, яке визначається відстанню між будь-якою точкою профілю та середньою лінією і виміряне по нормалі, проведеній до середньої лінії через цю точку;

ℓ – базова довжина;

n – число вибраних точок на базовій довжині.

Середнє квадратичне відхилення профілю R_q –це середнє квадратичне значення відхилень профілю в межах базової довжини [4]:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{\ell}\int_0^{\ell} y^2(x) dx}$$

або приблизно:

$$R_q = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + ... + y_n^2}{n}}.$$

При визначенні значень R_a і R_q безпосереднім вимірюванням на відповідних приладах їх величина встановлюється в межах довжини оцінки, що включають декілька базових довжин. За НСО 3274 базова довжина в числовому вираженні дорівнює кроку приладу.

На такі експлуатаційні властивості поверхні, як зносостійкість, контактна жорсткість та інші, суттєво впливає фактична поверхня дотику деталі зі сполученими

деталями виробу. Ця величина з відомим наближенням може бути частково оцінена критерієм η_p [4].

Опорна довжина η_p *профілю* визначається сумою довжин відрізків в межах базової довжини, що обмежуються на заданому рівні в матеріалі профілю лінією, еквідистантною середній лінії.

Для співставлення розмірів опорних поверхонь, оброблених різними методами, зручно користуватись поняттям *відносної опорної довжини* t_p *профілю,* яка визначається відношенням довжини профілю до базової довжини, тобто [4]:

$$t_p = \frac{\eta_p}{\ell} = \frac{1}{\ell}\sum_{i=1}^{n} в_i ,$$

де $в_i$ – довжина відрізка, що відсікається в матеріалі виступу профілю;

p – рівень перерізу профілю, який визначається відстанню між лінією виступів профілю та лінією, що перетинає профіль еквідистантно лінії виступів профілю.

Опорна довжина η_p профілю і відносна опорна довжина t_p профілю встановлюються на потрібному рівні перерізу P профілю, який визначається відстанню між лінією виступів профілю та лінією, що перетинає профіль еквідистантно лінії виступів профілю, вона виражається у відсотках від R_{max}.

При проектуванні виробу, в залежності від функціональних вимог, які ставляться до його робочих поверхонь, параметри шорсткості вибирають за державним стандартом.

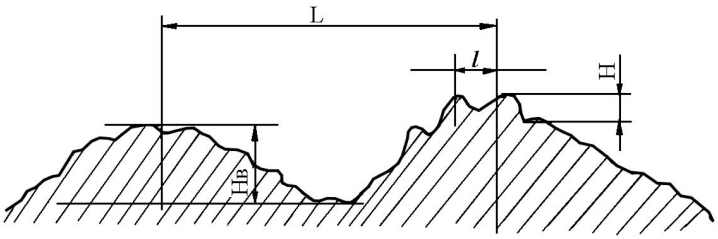
Значення шорсткості, що рекомендується для використання при конструюванні та технологічному проектуванні, наведені в табл. 7.2 [2].

Таблиця 7.2

Значення шорсткості, що рекомендуються при певних видах обробки

Область застосування	Значення R_z, мкм	Значення R_a, мкм
Фінішна обробка	0,025	–
	0,05	0,012
	0,1	0,025
	0,2	0,05
	0,4	0,1
	0,8	0,2
Чистова обробка	1,6	0,4
	3,2	0,8
	6,3	1,6
	12,5	3,2
	25,0	6,3
Попередня (чорнова) обробка	50	12,5
	100	25
	200	50
	400	100

Хвилястість займає проміжне положення між шорсткістю та похибкою форми поверхні. Критерієм для розмежування шорсткості та хвилястості служить величина відношення кроку до висоти нерівностей. Для шорсткості (рис. 7.4) це відношення орієнтовно рівне $\ell/H < 50$, для хвилястості – $L/H_в = 50 – 1000$, для макрогеометрії – $L/H_в > 1000$ [4].



$$\text{Шорсткість: } \frac{l}{H} < 50$$

$$\text{Хвилястість: } \frac{L}{H_в} = 50...1000$$

$$\text{Макрогеометрія: } \frac{L}{H_в} > 1000$$

Рис. 7.4. Шорсткість та хвилястість поверхні

При вирішенні задач технологічного забезпечення якості поверхні деталей та їх експлуатаційних якостей технолог повинен вміти:

– забезпечувати параметри якості поверхневого шару деталей машин відповідно до їх службового призначення;

– прогнозувати режими механічної обробки, що забезпечують одержання заданих параметрів якості;

– визначати комплекс методів механічної обробки, що забезпечують одержання заданих параметрів якості поверхневого шару з найбільшою продуктивністю.

7.2. Вплив механічної обробки на стан поверхневого шару заготовки

7.2.1. Деформаційне зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару

При обробці заготовок різанням під дією прикладених сил в металі поверхневого шару відбувається пластична деформація, яка супроводжується його деформаційним зміцненням (наклепом). Інтенсивність та глибина поширення наклепу зростають зі збільшенням сил і тривалості їх дії та з підвищенням ступеня пластичності деформації металу поверхневого шару.

Одночасно зі зміцненням (під впливом нагрівання зони різання) в металі поверхневого шару відбувається роззміцнення, що повертає метал в його початковий ненаклепаний стан. Кінцевий стан металу поверхневого шару визначається співвідношенням швидкостей протікання процесів зміцнення та роззміцнення, яке залежить від переважання дій в зоні різання силового чи теплового фактора.

Ступінь та глибина поширення наклепу змінюються в залежності від виду і режиму механічної обробки і геометрії різального інструменту. Кожна зміна

режиму різання, що викликає збільшення сил різання та ступеня пластичної деформації, веде до підвищення ступеня наклепу. Зростання тривалості дії сил різання на метал поверхневого шару призводить до збільшення глибини поширення наклепу. Зміна режимів обробки, що веде до зростання кількості теплоти в зоні різання та тривалості теплової дії інструмента на метал зони різання, підсилює інтенсивність роззміцненя, що знімає наклеп поверхневого шару.

З цих загальних позицій може бути оцінений вплив режимів різання на наклеп поверхневого шару, проте на практиці картина значно ускладнюється впливом сил тертя, зміною умов відведення теплоти із зони різання, структурними змінами металу і деякими іншими явищами, які важко піддаються попередньому врахуванню та спотворюють очікувані закономірності виникнення наклепу.

В процесі обробки точінням наклеп поверхневого шару підвищується при збільшенні подачі та глибини різання у зв'язку зі збільшенням радіуса заокруглення різального леза (рис. 7.5) і при переході від позитивних передніх кутів різця до від'ємних (рис. 7.6). У всіх вказаних випадках збільшення наклепу пов'язане з підсиленням ступеня пластичної деформації у зв'язку зі зростанням сил різання.

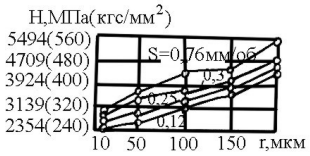


Рис. 7.5. Вплив подачі S та радіуса r заокруглення вершини різця на мікротвердість H обточеної поверхні

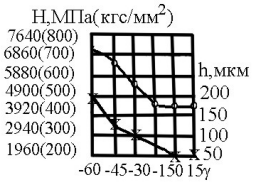


Рис. 7.6. Вплив переднього кута γ різця на мікротвердість H та глибину наклепу h

Вплив швидкості різання найчастіше проявляється через зміну теплової дії та тривалості дії сил і нагрівання металу поверхневого шару. Для металів, які не зазнають при різанні структурних змін, при підвищенні швидкості різання потрібно очікувати зниження наклепу (рис. 7.7) внаслідок скорочення тривалості діяння деформуючих сил на метал, що повинно призвести до зменшення глибини наклепу, а також в результаті інтенсифікації тертя та виділення теплоти в зоні різання, що прискорює процес розміцнення.

В процесі обробки сталей, які зазнають структурних зміни (наприклад, марки У10) при збільшенні швидкості різання, зростання теплоти може викликати поверхневе загартування оброблюваної заготовки, що обумовить підвищення мікротвердості металу поверхневого шару (рис. 7.8), проте в цьому випадку

зміцнення поверхневого шару буде пов'язане не з наклепом металу, а з його структурними змінами.

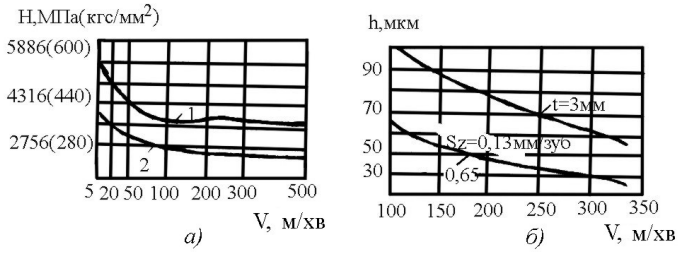


Рис. 7.7. Вплив швидкості різання на зміцнення сталей, що структурно не змінюються, під час точіння (а) та фрезерування (б): 1 *– сталь 30ХГС;* 2 *– сталь 20*

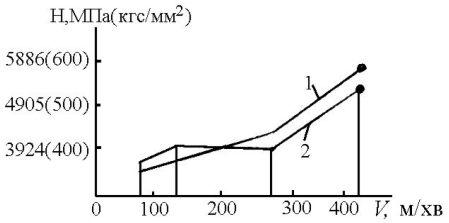


Рис. 7.8. Вплив швидкості різання V на зміцнення сталей, що структурно змінюються: 1 *– сталь У10;* 2 *– сталь 25 ХНВА*

Аналогічно точінню збільшення подачі та глибини різання при фрезеруванні підвищує ступінь наклепу. Значно збільшується наклеп при зношуванні різального інструменту. При зустрічному фрезеруванні наклеп виявляється більшим, ніж при попутному (рис. 7.9).

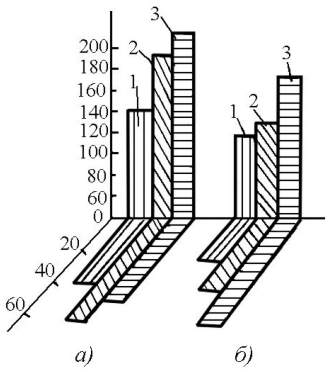


Рис. 7.9. Вплив зношування фрези на наклеп поверхні заготовки зі сталі 2Х13 при зустрічному (а) і попутному (б) фрезеруванні: V = 38 м/хв; S_z = 0,05 мм/зуб; t = 1 мм; 1 *– знову заточена фреза;* 2 *– фреза, що пропрацювала половину періоду стійкості;* 3 *– зношена фреза*

Загальні закономірності виникнення наклепу зберігаються і при абразивній обробці: наклеп зростає при підсиленні навантаження на абразивне зерно, що пов'язане зі збільшенням глибини шліфування, частоти обертання заготовок (або поздовжньої подачі стола при плоскому шліфуванні), а також розміру і радіуса заокруглення абразивних зерен (рис. 7.10). При підвищені частоти обертання круга навантаження на абразивні зерна знижуються, а кількість теплоти, що виділяється в зоні шліфування та знімає наклеп, збільшується. Зміцнення поверхневого шару при цьому зменшується (рис. 7.10) [2]. Зі збільшенням числа ходів виходжування у зв'язку з тривалим тертям абразивних зерен та оброблюваної поверхні, що викликає пластичну деформацію металу поверхневого шару, наклеп зростає.

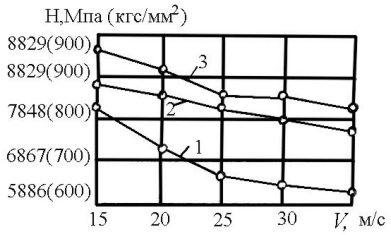


Рис. 7.10. Вплив зернистості та швидкості круга на наклеп поверхні загартованої сталі: 1 – *зернистість 5;* 2 – *зернистість 6;* 3 – *зернистість 10*

При викінчуванні різними способами теж відбувається наклеп металу поверхневого шару, особливо значний при викінчуванні в режимі полірування.

Хонінгування загартованої сталі в режимі різання (самозаточування) підвищує мікротвердість металу поверхневого шару у зв'язку з його наклепом на 15–20 %, а в режимі полірування – на 30–40 % при глибині поширення наклепу в межах 15–20 мкм.

Суперфінішування відпаленої сталі збільшує мікротвердість металу поверхневого шару на 35–40 %, а загартованої сталі – на 25–30 % при глибині поширення наклепу 5–10 мкм. І в цьому випадку при переході від режиму різання (самозаточування) до режиму полірування спостерігається підвищення ступеня наклепу, яке виражається у більшому дробленні кристалічних блоків і збільшенням викривлення кристалічної решітки.

При викінчуванні вільним абразивом наклеп сталі 45 підвищує мікротвердість з $H_{вих}$ = 3930 до 5700 МПа, тобто на 45 % (при глибині поширення наклепу 15–20 мкм).

7.2.2. Залишкові напруження у поверхневому шарі, причини їх виникнення

Виникнення залишкових напружень у поверхневому шарі при механічній обробці заготовок пояснюється наступними основними причинами.

1. При дії різального інструменту на поверхню оброблюваного металу в його поверхневому шарі відбувається пластична деформація, яка супроводжується зміцненням і зміною деяких фізичних властивостей металу. Пластична деформація металу викликає зменшення його щільності, а отже, обумовлює зростання питомого об'єму, який досягає 0,3–0,8 % питомого об'єму до пластичної деформації.

Збільшення об'єму металу поширюється тільки на глибину проникнення пластичної деформації і не зачіпає шарів металу, які лежать нижче.

Збільшенню об'єму пластично деформованого металу поверхневого шару перешкоджають зв'язані з ним недеформовані шари, що лежать нижче. В результаті цього у зовнішньому шарі виникають стискуючі, а у нижніх шарах – розтягуючі залишкові напруження.

2. Різальний інструмент, що знімає з обробленої поверхні елементну стружку, витягує кристалічні зерна металу підрізцевого шару, які при цьому зазнають пружної та пластичної деформацій розтягу в напрямку різання. Тертя задньої поверхні різального інструменту об оброблювану поверхню в свою чергу сприяє розтягуванню кристалічних зерен металу поверхневого шару. Після віддалення різального інструмента пластично розтягнуті верхні шари металу, зв'язані як єдине ціле з нижніми шарами металу, набувають залишкових напружень стискання, орієнтованих у напрямку різання. Відповідно до цього, в нижніх шарах розвиваються врівноважуючі їх залишкові напруження розтягування. При цьому в напрямку, перпендикулярному до напрямку швидкості різання (тобто в напрямку подачі), також відбувається пружна і пластична деформація кристалічних зерен, які викликають виникнення залишкових напружень (осьові напруження), величина і знак яких можуть збігатися чи не збігатися з величиною і знаком залишкових напружень, орієнтованих в напрямку швидкості різання (рис. 7.11).

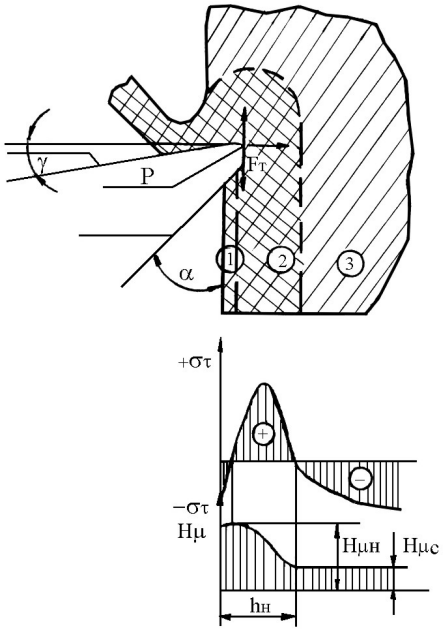


Рис. 7.11. Типова схема розподілу залишкових напружень у поверхневому шарі оброблювальної поверхні

3. При відділенні від оброблюваної поверхні зливної стружки (обробка пластичних металів при відповідних умовах різання) після пластичного витягування кристалічних зерен металу поверхневого шару у напрямку різання відбувається їх

додаткове витягування під впливом зв'язаної з оброблюваною поверхнею стружки у напрямку сходження зливної стружки, тобто вверх. В цьому випадку може відбутись повне переформування кристалічних зерен поверхневого шару (витягування у вертикальному і стискання у горизонтальному напрямках), що призведе до появи в напрямку швидкості різання і подачі залишкових напружень розтягування.

4. Теплота, що виділяється в зоні різання, миттєво нагріває тонкі поверхневі шари металу до високих температур, що викликає збільшення його питомого об'єму. Проте, у розігрітому шарі не виникають внутрішні напруження у зв'язку з тим, що модуль пружності металу знижується до мінімуму, а пластичність зростає. Після припинення дії різального інструмента відбувається швидке охолодження металу поверхневого шару, яке супроводжується стисканням. Цьому перешкоджають нижні шари металу, що залишилися холодними. В результаті у зовнішніх шарах металу розвиваються залишкові напруження розтягування, в нижніх шарах – врівноважуючі їх напруження стискання.

5. При обробці металів, схильних до фазових перетворень, нагрівання зони різання викликає структурні перетворення, пов'язані з об'ємними змінами металу. В цьому випадку у шарах металу зі структурою, що має більший питомий об'єм, розвиваються напруження стискання, а в шарах зі структурою меншого питомого об'єму – залишкові напруження розтягування. Наприклад, перехід аустеніту в мартенсит збільшує об'єм, що призводить до виникнення залишкових напружень стискання. При переході мартенситу в троостит, що має менший об'єм, виникають залишкові напруження розтягування.

Будь-яка з вищезгаданих причин при обробці металів різанням може переважати над іншими. При цьому вона буде визначати величину і характер розподілу залишкових напружень. Проте, якщо всі згадані причини достатньо сильно впливають на властивості поверхневого шару, то кінцевий розподіл залишкових напружень по глибині поверхневого шару набуває надто складного характеру.

Зміна видів і режимів обробки змінює характер напруженого поля в зоні різання і питоме значення теплоти у складі причин, що впливають на створення залишкових напружень. У зв'язку з цим змінюється як величина, так і знак залишкових напружень металу поверхневого шару.

У більшості випадків зміна видів обробки і режимів різання, що призводять до збільшення впливу силового поля і підвищення ступеня пластичної деформації, викликає зростання залишкових напружень стискання і зниження розтягальних напружень за винятком обробки пластичних металів, коли підвищення впливу силового поля може призвести до підсилення розтягальних і зменшенню стискальних напружень.

Зміна режимів різання і умов обробки, що викликають за собою підвищення миттєвої температури нагрівання металу поверхневого шару та підсилення цим впливом теплового фактора (підвищення швидкості різання, збільшення засалювання абразивного круга при шліфуванні, зниження теплопровідності оброблюваного металу і різального інструменту, збільшення тривалості зіткнення окремих ділянок обробленої поверхні з різальним інструментом, що є джерелом нагрівання металу поверхневого шару, погіршення умов охолодження тощо), обумовлює зростання залишкових напружень розтягування чи перетворення стискальних залишкових напружень у розтягальні.

Знак і глибина поширення залишкових напружень, що виникають в результаті фазових перетворень металу поверхневого шару, визначають повнотою протікання

фазових перетворень і співвідношенням питомих об'ємів структурних складових суміжних шарів металу поверхневого шару. При цьому дуже велике значення для формування залишкових напружень має хімічний склад металу і його здібність до структурних змін, пластичність, пружність, теплопровідність і температуропровідність та інші механічні та фізичні властивості оброблюваного металу.

Точіння. При точінні залишкові напруження виникають під впливом однієї з вищезгаданих причин або утворюються в результаті одночасної дії всіх чи частини цих причин. Остаточна величина, знак, глибина поширення і характер епюри залишкових напружень поверхневого шару після точіння залежать від ступеня дії кожної з причин, що беруть участь при утворенні залишкових напружень.

Вплив швидкості різання при точінні найчастіше всього проявляється у зміні теплової дії (з підвищенням швидкості різання кількість теплоти, що виділяється в зоні різання, зростає) і в зміні тривалості теплового і силового впливу на метал поверхневого шару з боку інструмента.

При обробці пластичних матеріалів, наприклад сталі, ЭИ437Б (рис. 7.12, *а*), коли під дією напруженого поля стружки в металі поверхневого шару виникають залишкові напруження розтягування, підвищення швидкості різання призводить до появи додаткових теплових розтягальних напружень, які збільшують загальну величину залишкових напружень розтягування.

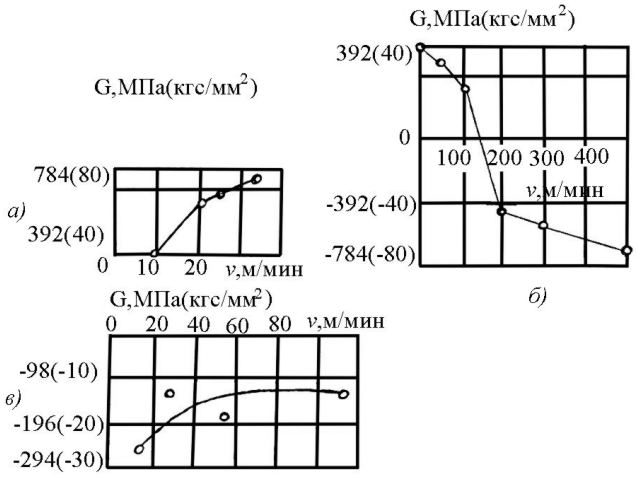


Рис. 7.12. Вплив швидкості різання на залишкову напругу при точінні

При обробці пластичних матеріалів, які піддаються загартуванню, наприклад, сталі 30ХГС (рис. 7.12, *б*), збільшення кількості теплоти в зоні різання, пов'язане з підвищенням швидкості різання, може призвести до загартування металу поверхневого шару, повнота протікання якого зростає зі збільшенням температури нагрівання, а отже, і швидкості різання. Збільшення питомого об'єму металу поверхневого шару при його загартуванні призводить до зниження залишкових напружень розтягування, що формуються при малих швидкостях різання, і перетворення їх в напруження стискання при обробці на великих швидкостях.

При обробці малопластичних металів різанням із створенням елементної

стружки, при якій формуються залишкові напруження стискання, підвищення швидкості різання може викликати появу додаткових теплових залишкових напружень розтягування, які призводять до зменшення стискальних і навіть до створення розтягальних напружень.

При точінні загартованих металів збільшення нагрівання поверхневого шару, пов'язане зі зростанням швидкості різання, може викликати відпущення металу і зменшення його питомого об'єму, що призводить до зниження залишкових напружень стискання, які виникають під впливом напруженого поля передньої поверхні інструмента при малих швидкостях різання (рис. 7.12, *в*). В прикладі, наведеному на рис. 7.12 *в*, збільшення швидкості різання загартованої сталі 45ХНМФА з 10 до 110 м/хв. супроводжувалося зниженням мікротвердості металу поверхневого шару з 6340 до 5400 МПа.

Збільшення подачі призводить до зростання пластичної деформації металу поверхневого шару, що викликається силовим полем. Тому при обробці пластичних матеріалів, наприклад, жароміцних сталей ЭИ766 (I) і ЭИ37Б (2) (рис. 7.13, *а*), у яких під дією напруженого поля стружки утворюються розтягальні залишкові напруження, збільшення подачі супроводжується зростанням залишкових напружень розтягу. Зростання подачі при точінні малопластичних металів, наприклад, титанового сплаву ВТ6 (рис 7.13, *б*), викликає збільшення пластичної деформації, залишкових напружень стискання (3) і глибини їх проникнення в метал поверхневого шару (4).

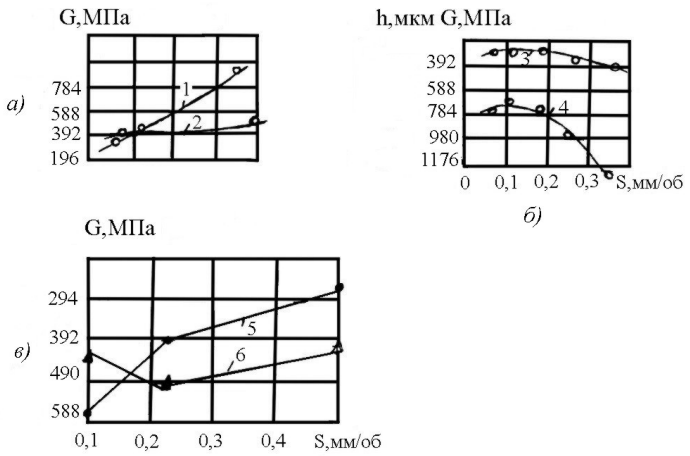


Рис. 7.13. Вплив подачі на формування залишкової напруги при точінні

При обробці малопластичних загартованих металів, наприклад, сталей 30ХГСНА (5) і 30ХГСА (6) (рис. 7.13, *в*), збільшення подачі призводить до значного підвищення температури в зоні різання, що може викликати появу теплових розтягальних напружень, які знижують загальну величину залишкових напружень стискання у поверхневому шарі.

Зі зменшенням позитивного переднього кута + γ і збільшенням від'ємного кута – γ підвищуються пластична деформація металу поверхневого шару і його питомий

об'єм, що супроводжується зростанням залишкових напружень стискання. При точінні пластичних металів залишкові напруження розтягування знижуються, а при точінні малопластичних металів залишкові напруження стискання зростають.

Зі збільшенням зношування різального інструмента зростають тертя його задньої поверхні об оброблювану поверхню заготовки і радіус заокруглення різальної кромки, що призводить до збільшення пластичної деформації металу поверхневого шару і глибини її поширення. У зв'язку з цим при обробці пластичних металів із затупленням різального інструмента зростають залишкові напруження розтягування і глибина їх поширення.

Затуплення інструмента, що обробляє малопластичні метали, призводить до збільшення стискальних залишкових напружень і глибини їх проникнення у поверхневий шар.

Шліфування. Процес шліфування відбувається при незвичайно великих напруженнях, які виникають у тонкому шарі металу і стружці, що знімається при обробці з високою швидкістю різання (яка у десятки разів перевищує швидкість різання металевими і твердосплавними інструментами), і при високій температурі в зоні різання, яка іноді наближається до температури плавлення оброблюваного металу.

В цих умовах кожна із згаданих раніше причин виникнення залишкових напружень поверхневого шару може переважати над іншими, і тоді характер розподілу, знак і величина залишкових напружень поверхневого шару після шліфування будуть в основному залежати від цієї причини.

Зміна умов шліфування, яка веде за собою підвищення температури металу поверхневого шару (погіршення охолодження, зменшення теплопровідності оброблюваного матеріалу, збільшення частоти обертання круга, затуплення, засалювання круга, підвищення його твердості, збільшення глибини шліфування і подачі, зниження швидкості обертання заготовки), призводить до зростання залишкових напружень розтягування або зниження залишкових напружень стискання. І навпаки, зниження нагрівання зони шліфування і підсилення силової дії абразивних зерен, що викликає пластичну деформацію металу поверхневого шару (збільшення глибини і подачі шліфування при хорошому відведенні теплоти, використання м'яких і алмазних кругів з хорошим тепловідведенням, зростання частоти обертання заготовки і зниження швидкості обертання круга, застосування виходжування), сприяє зменшенню теплових розтягальних і збільшенню стискальних залишкових напружень.

Необхідно відмітити, що при шліфуванні металів, схильних до фазових перетворень, збільшення нагрівання заготовки, що шліфується, може привести до структурних змін, які обумовлюють появу залишкових напружень різного знаку і в більшості випадків знижуючим експлуатаційні властивості металу поверхневого шару.

Викінчування. Майже всі викінчувальні процеси проходять при порівняно низьких швидкостях і незначних тисках. Тому нагрівання металу поверхневого шару невелике і не може бути причиною виникнення теплових залишкових напружень.

Разом з тим, при всіх викінчувальних процесах відбуваються пластична деформація і наклеп поверхневого шару, які особливо великі при переводі викінчування із режиму мікрорізання в режим тертя (полірування). У відповідності з цим при викінчуванні в тонкому поверхневому шарі звичайно виникають залишкові напруження стискання, які можна порівняти за своєю величиною з напруженнями,

що з'являються при інших видах механічної обробки.

При суперфінішуванні загартованої сталі 45 стискальні залишкові напруження досягають 844 МПа і поширюються на глибину h = 0,005–0,015 мм (рис. 7.14). При цьому переведення процесу суперфінішування з режиму мікрорізання в режим полірування збільшує залишкові напруження стискання з 234 до 844 МПа, тобто більше, ніж втричі.

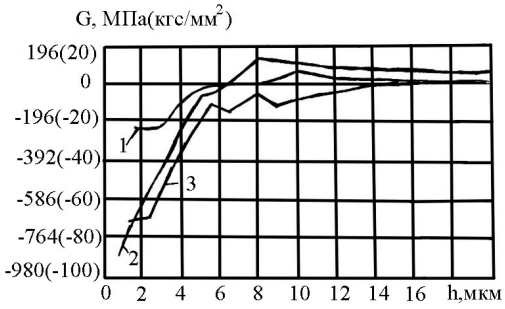


Рис. 7.14. Залишкова напруга при суперфінішуванні загартованої сталі:
1 – *режим мікрорізання;* 2, 3 – *режими лощення*

Пластична деформація металу поверхневого шару при хонінгуванні сталі також викликає стискальні залишкові напруження, величина і глибина поширення яких близька за своїм значенням до залишкових напружень при суперфінішуванні.

7.3. Шорсткість поверхні

7.3.1. Загальні причини виникнення шорсткості

Всі різноманітні фактори, що обумовлюють шорсткість обробленої поверхні, можна об'єднати в три основні групи:

- причини, пов'язані з геометрією процесу різання;
- причини, пов'язані з пластичною та пружною деформаціями оброблюваного матеріалу;
- причини, пов'язані з виникненням вібрацій різального інструменту.

Процес виникнення нерівностей внаслідок геометричних причин прийнято трактувати як копіювання на оброблюваній поверхні траєкторії руху і форми різальних лез. З геометричної точки зору величина, форма і взаємне розташування нерівностей (напрямок слідів обробки) визначаються формою і станом різальних лез і тими елементами режиму різання, які впливають на зміну траєкторії руху різальних лез відносно оброблюваної поверхні.

В різних умовах обробки пластичні та пружні деформації оброблюваного матеріалу і вібрації спотворюють геометрично правильну форму нерівностей, порушують їх закономірний розподіл на поверхні і суттєво збільшують їх висоту. В ряді випадків пластичні деформації та вібрації викликають появу поздовжньої шорсткості, яка досягає значних розмірів, і збільшення поперечної шорсткості.

Переважно на формування шорсткості поверхні впливає (як правило) одна з трьох згаданих груп причин, яка і визначає характер і величину шорсткості. Проте, в

окремих випадках шорсткість виникає в результаті одночасної і майже рівнозначної дії всіх згаданих причин і внаслідок цього немає чітко виражених закономірностей.

7.3.2. Геометричні причини створення шорсткості при точінні

За один оберт заготовки різець переміщується на величину подачі S_1 (мм/об) і переходить з положення 2 в положення 1 (рис. 7.15, *а*). При цьому на обробленій поверхні залишається деяка частина металу, не знята різцем, і вона створює залишковий гребінець m. Цілком очевидно, що величина і форма нерівностей поверхні, що складається із залишкових гребінців, визначається подачею S_1 і формою різального інструменту. Наприклад, при зменшенні подачі до значення S_2 висота нерівностей R_z знижується до R'_Z (рис. 7.15, *б*). Зміна кутів φ і φ_1 в плані впливає не тільки на висоту, але й на форму нерівностей поверхні (рис. 7.15, *в*). При використанні різців із заокругленою вершиною достатньо великого радіуса r_1 форма нерівностей стає відповідно також заокругленою (рис. 7.15, *г*). При цьому збільшення радіуса заокруглення вершини різця до r_2 призводить до зменшення висоти R_z шорсткості (рис. 7.15, *д*).

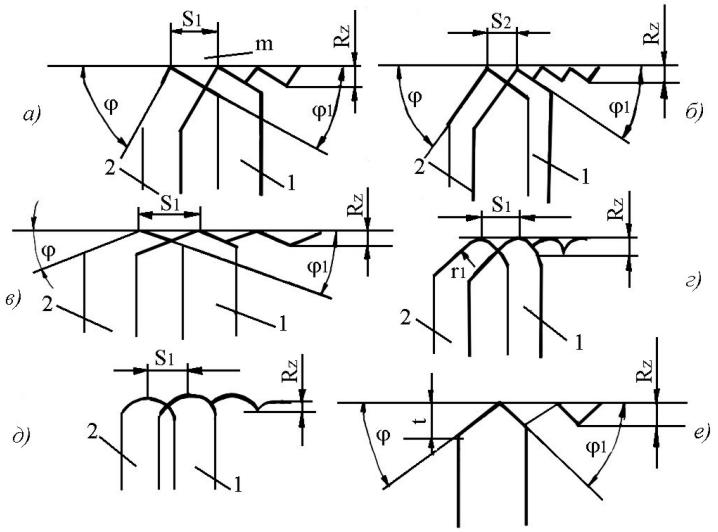


Рис. 7.15. Геометричні причини утворення шорсткості під час точіння

Виходячи з наведених міркувань геометричного характеру, проф. Чебишев В.Л. запропонував визначати висоту R_z нерівностей при обробці різцем в залежності від подачі S і радіуса r заокруглення вершини різця за формулою:

$$R_Z = \frac{S^2}{8r}. \qquad (7.1)$$

В процесі створення нерівностей при точінні різцями з невеликими радіусами заокруглення і з великими подачами беруть участь не тільки криволінійна частина різальної кромки різця, створена радіусом r заокруглення, але й прямолінійна ділянка

різального леза (рис. 7.15, *е*) [2]. В цьому випадку у формулу Чебишева В.Л. включають значення головних кутів φ і φ_1 в плані:

$$R_Z = \frac{S \sin\varphi \cdot \sin\varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} .$$

Якщо шорсткість формується повністю заокругленою частиною різальної кромки, то висота мікронерівностей може бути визначена за формулою:

$$R_Z = r - 0{,}5\sqrt{4r^2 - S^2} .$$

Якщо при виготовленні різця або в процесі його експлуатації на його лезах утворюються вищерблення, то вони прямо впливають на підвищення шорсткості поверхні.

За практичними даними при затупленні різального інструмента і появі на ньому вищерблень шорсткість обробленої поверхні при точінні зростає на 50–60 %, при фрезеруванні циліндричними фрезами – на 100–115 %, при фрезеруванні торцевими фрезами – на 35–40 %, при свердлінні – на 30–40 % і при розвертанні – на 20–30 %.

Вказане збільшення шорсткості оброблюваної поверхні при затупленні різального інструмента пов'язане не тільки з геометричним впливом вищерблень, що виникають на різальному лезі, але й зі збільшенням радіуса заокруглення леза. Збільшення радіуса заокруглення леза збільшує ступінь пластичної деформації металу поверхневого шару, що призводить до зростання шорсткості поверхні.

Для усунення впливу вищерблень і притуплення різального леза рекомендується ретельне (бажано алмазне) доведення інструментів і своєчасне їх переточування.

Наведені вище відомості про геометричні причини виникнення нерівностей при точінні дають можливість зробити наступні висновки.

1. Збільшення подачі, головного φ і допоміжного φ_1 кутів різця у плані призводить до зростання висоти нерівностей. При чистовій обточці доцільно користуватись прохідними різцями з малим значенням кутів φ і φ_1. Не слід без особливої необхідності застосувати підрізні різці.

2. Зростання радіуса заокруглення вершини різця знижує висоту шорсткості поверхні.

3. Зниження шорсткості різальних поверхонь інструмента за допомогою ретельного (бажано алмазного) доведення усуває вплив нерівностей різального леза на оброблювану поверхню. Разом зі зменшенням шорсткості оброблюваної поверхні, доведення помітно підвищує стійкість різального інструмента, а отже, і економічність його використання.

7.3.3. Пластичні та пружні деформації металу поверхневого шару

При обробці різанням пластичних матеріалів метал поверхневого шару зазнає пластичної деформації, в результаті якої суттєво змінюються розміри і форма нерівностей обробленої поверхні (звичайно шорсткість при цьому збільшується).

При обробці крихких металів спостерігається виривання окремих частинок металу, що також веде до збільшення висоти і зміни форми нерівностей.

Швидкість різання є одним із найбільш суттєвих факторів, які впливають на розвиток пластичних деформацій при точінні. Малі швидкості різання вуглецевих конструкційних сталей (сталі 30, 40, 50) порядку V = 1 м/хв призводять до порівняно невеликого підвищення температури і сприяють утворенню елементної стружки. При

цьому відокремлення стружки відбувається легко і без помітних деформацій верхнього шару обробленої поверхні. Нерівності на обробленій поверхні незначні.

Зі збільшенням швидкості різання до 40 м/хв в процесі утворення стружки виділяється велика кількість теплоти, яка сприяє пластичній течії відокремлюваного металу вздовж передньої та задньої поверхонь різця. В деякий момент під дією зусиль, які притискають шари металу до передньої поверхні різця, і високої температури шари металу приварюються до передньої (і частково задньої) поверхні, створюючи наріст. При швидкості різання 20–40 м/хв наріст найбільший і стійкий.

При подальшому підвищенні швидкості різання кількість теплоти, що виділяється у процесі стружкоутворення, збільшується. При цьому наріст нагрівається швидше за інші частини зони деформації, частково роззміцнюється і сили зчеплення окремих частинок наросту вже не можуть чинити достатній опір силам тертя спливаючої стружки. Тому частинки металу застійної зони виносяться разом зі стружкою. Внаслідок цього наріст зменшується і в інтервалі швидкостей 60–70 м/хв повністю зникає. При наступному підвищенні швидкості різання нарости на різці більше не створюються.

Шорсткість оброблюваної поверхні тісно пов’язана з процесами утворення стружки і в першу чергу з явищем наросту. В зоні малих швидкостей (V = 2–5 м/хв), при яких наріст не утворюється, розміри нерівностей обробленої поверхні незначні. Зі збільшенням швидкості розміри нерівностей поверхні зростають, досягаючи при 20–40 м/хв свого найбільшого значення, що багатократно перевищує розрахункову величину.

Подальше підвищення швидкості різання зменшує наріст і знижує висоту шорсткості обробленої поверхні.

В зоні швидкостей (V > 70 м/хв.), при яких наріст не утворюється, шорсткість поверхні виявляється мінімальною. В цьому випадку подальше збільшення швидкості різання лише несуттєво знижує висоту шорсткості поверхні. Зв’язок процесів утворення шорсткості обробленої поверхні та наросту на різці зі швидкістю різання показаний на рис. 7.16.

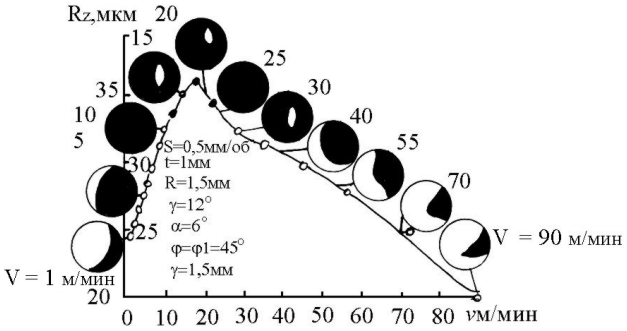


Рис. 7.16. Вплив швидкості різання на утворення наросту та шорсткість обробленої поверхні при точінні сталі 45

При великій швидкості різання глибина пластично деформованого поверхневого шару незначна, і розміри шорсткості наближаються до розрахункових.

У випадку обробки крихких матеріалів (наприклад, чавуну) разом із зрізанням окремих частинок металу відбувається їх зсув і безладне крихке відколювання від

основної маси металу, що збільшує шорсткість поверхні. Підвищення швидкості різання зменшує відколювання частинок, і оброблювана поверхня стає більш гладкою.

При чистовій обробці металів, коли стан і точність обробленої поверхні мають вирішальне значення, цілком природне намагання вести обробку в зоні швидкостей, при яких наросту на інструменті не утворюється, а шорсткість поверхні виходить найменшою. Такою зоною для конструкційних сталей (як це відмічалось раніше) є 5 м/хв ≥ V ≥ 70 м/хв.

Подача – другий елемент режиму різання, що суттєво впливає на шорсткість.

Це пов'язано не тільки із згаданими раніше геометричними причинами, але і суттєво обумовлено пластичними і пружними деформаціями у поверхневому шарі.

Різання металів здійснюється інструментом, лезо якого завжди має радіус заокруглення ρ. При вдавлюванні різця в оброблюваний матеріал відбувається відокремлення стружки по площині сколювання А–А (рис. 7.17). При цьому частина металу, що лежить нижче точки В, не зрізується, а підминається заокругленою частиною різця, піддаючись пружній та пластичній деформаціям.

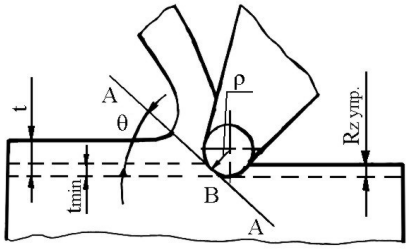


Рис. 7.17. Схема відокремлення стружки різцем з радіусом заокруглення леза

Після проходження різця незрізаний шар металу частково пружно відновлюється, викликаючи тертя по задній поверхні різця. Різниця ступеня пружного відновлення металу виступів і западин нерівностей звичайно збільшують висоту шорсткості.

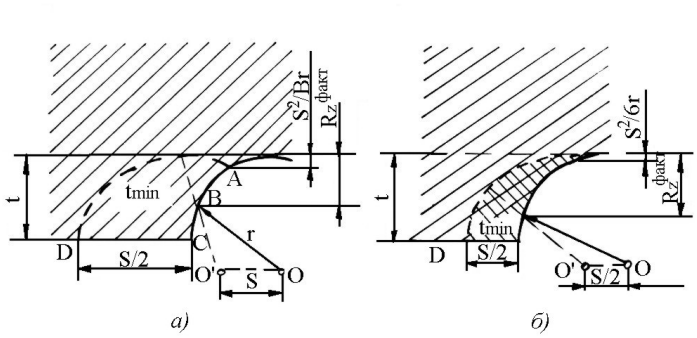


Рис. 7.18. Утворення шорсткості під час точіння з малими подачами (а) і збільшення шорсткості зі зменшенням товщини стружки (б)

Найменша товщина t_{min} шару, яка може бути зрізаною, залежить від радіуса заокруглення різальної кромки, властивостей оброблюваного матеріалу і швидкості

різання (при зменшенні радіуса заокруглення ρ і збільшенні швидкості різання t_{min} зменшується).

При тонкому точінні різцем, що має радіус при вершині r, теоретично утворюється стружка змінної товщини з дуже тонкою вершиною (рис. 7.18). Частина цієї вершини АВ з товщиною, меншою t_{min}, практично не може бути зрізаною і підминається заокругленою вершиною леза. Фактичне зрізування металу відбувається тільки на ділянці ВС, на якій товщина стружки перевищує t_{min}.

Після проходу різця деформована ділянка металу (на рис. 7.18, *а* показана подвійною штриховою лінією) частково пружно відновлюється, збільшуючи висоту нерівностей $R_z = S^2/(8r)$, що визначається геометричними причинами, до $R_Z^{факт}$.

Очевидно, що фактична висота нерівностей $R_Z^{факт}$ дорівнює розрахунковій $S^2/(8r)$ тільки при відносно великій подачі, при якій $R_z = S^2/(8r)$ більше чи дорівнює t_{min}.

При роботі з невеликими подачами (S < 0,05÷0,06) мм/об при r = 0,8÷1,0 мм) зменшення подачі не тільки не знижує висоту шорсткості, але й за певних умов може навіть викликати її збільшення у зв'язку зі зменшенням товщини стружки і збільшенням товщини ділянки, що пружно деформується (рис. 7.18, *б*) [2].

В цьому випадку при зниженні подачі в декілька разів збільшується питома сила різання, а також підвищується ступінь пластичної деформації металу оброблюваної поверхні і стружки, усадка стружки, наріст на різці і, в кінцевому результаті, висота шорсткості. Точіння з подачею менше 0,12 мм/об не призводить до зниження висоти шорсткості за законом параболи (рис. 7.19, крива 3), як цього слід було очікувати згідно з теоретичною формулою (7.1), а викликає лише незначне зменшення шорсткості (крива 2) чи навіть її збільшення (крива 1). У заштрихованій частині відбувається збільшення шорсткості у зв'язку з пружними і пластичними деформаціями металу.

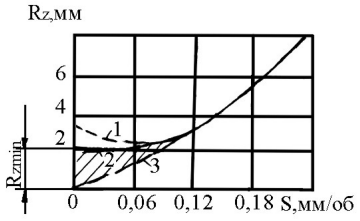


Рис. 7.19. Залежність шорсткості від подачі

Таким чином, навіть при мінімальній подачі неможна повністю усунути шорсткість обробленої поверхні, яка в цьому випадку суттєво визначається найменшою товщиною шару, що зрізується, і пластичними деформаціями оброблюваного матеріалу.

На рис. 7.19 показано, що при чистовому і тонкому точінні вуглецевих сталей зміна подачі від 0,02 до 0,1 мм/об мало впливає на висоту шорсткості. Нерівності поверхні в цьому випадку створюються не стільки під впливом геометричних причин, скільки в результаті пружних і пластичних деформацій, швидкості різання та радіуса заокруглення різального леза різця. У зв'язку з цим для забезпечення найменшої шорсткості обробленої поверхні і високої продуктивності чистове точіння вуглецевих конструкційних сталей потрібно проводити при S = 0,05÷0,12 мм/об.

При точінні кольорових сплавів добре доведеними або алмазними різцями t_{min} зменшується. Тому для зниження висоти шорсткості може виявитись корисним зменшення подачі до 0,01 – 0,02 мм/об.

За численними дослідженнями встановлено, що при звичайному точінні вплив **глибини різання** на шорсткість мізерний і практично може не прийматись до уваги. При зменшенні глибини різання до 0,02 мм (внаслідок наявності на різальній кромці заокруглення) нормальне різання припиняється і різець, відтискаючись від заготовки, починає ковзати по оброблюваній поверхні, періодично врізаючись в неї і вириваючи окремі ділянки. Тому глибину різання при роботі звичайними різцями не потрібно брати дуже малою.

При глибинах різання менших за подачу перша геометрично впливає на висоту шорсткості. В цьому випадку зменшення глибини різання знижує висоту шорсткості.

Оброблюваний матеріал і його структура суттєво впливають на характер і висоту нерівностей обробленої поверхні. Більш в'язкі та пластичні матеріали (наприклад, маловуглецеві сталі) схильні до пластичних деформацій, дають при їх обробці різанням грубі та шорсткі поверхні.

Шорсткість обробленої поверхні зменшується при переході від структури феритоперлиту до трооститу і трооститомартенситу. Ферит, як складова структура сталі, є м'яким, в'язким і таким, що легко деформується, при обробці різанням він має схильність до утворення нерівностей. З точки зору отримання поверхні з мінімальною шорсткістю, виявляються надзвичайно несприятливими структури з неоднорідними зернами, а саме: структури так званого глобулярного перлиту, що складаються з круглих зерен цементиту, розсіяних по основній масі фериту.

Значно менша шорсткість утворюється при обробці сталі після нормалізації та відпущення, яка має однорідну і дрібнозернисту структуру. У зв'язку з цим для отримання при механічній обробці мінімальної шорсткості рекомендується попередня нормалізація вуглецевої сталі при 850–870 °С або (у випадку полегшити умови різання і підвищити стійкість різального інструмента) відпалювання при 900 °С протягом 5 годин.

Встановлено, що зі збільшенням твердості оброблюваного матеріалу висота шорсткості знижується. При цьому одночасно зменшується залежність висоти шорсткості від швидкості різання і при твердості 500НВ вплив швидкості майже відсутній. На основі цих досліджень рекомендується проводити попередню термообробку конструкційних сталей, що підвищує їх твердість.

Вплив швидкості різання та твердості на висоту шорсткості вуглецевих сталей помітно проявляється лише в зоні порівняно невеликих швидкостей різання. При перевищенні швидкості різання 140 м/хв залежність висоти шорсткості від твердості помітно послаблюється. Це пояснюється тим, що при швидкості різання 140 м/хв і вище температура оброблюваного матеріалу досягає 840 °С. При такій температурі механічні властивості сталей різної початкової твердості вирівнюються, в результаті чого висота шорсткості стабілізується і практично не залежить від зміни швидкості різання.

Зниження в'язкості оброблюваного матеріалу за рахунок наклепу поверхневого шару також сприяє зменшенню шорсткості обробленої поверхні. На практиці це явище спостерігається при розвертанні отворів після зенкування, що утворює помітний наклеп обробленої поверхні. Якщо припуск, залишений на

розвертання, менший глибини наклепаного зенкуванням більш крихкого поверхневого шару, то в результаті розвертання отримується поверхня з мінімальними нерівностями.

Зміна хімічного складу оброблюваного матеріалу, що відбивається на його в'язкості, в свою чергу впливає на розміри шорсткості обробленої поверхні заготовок як з кольорових сплавів, так і зі сталей.

Застосування МОР, що запобігає схоплюванню, зменшує тертя та полегшує процес стружкоутворення, сприяє зниженню висоти нерівностей поверхні.

7.3.4. Вібрації різального інструмента, верстата і заготовки

В процесі різання виникають вимушені коливання технологічної системи, які викликаються дією зовнішніх сил, і автоколивань системи, поява яких пов'язана з періодичним зміцненням (наклепом) шару металу, що зрізується, і зміною умов тертя чи різання. Вимушені коливання системи обумовлюються дефектами окремих механізмів верстата (неточність зубчастих передач, погане балансування частин що, обертаються, надзвичайні зазори у підшипниках тощо), які є причиною нерівномірності його руху.

Вібрація леза різального інструмента відносно оброблюваної поверхні є додатковим джерелом збільшення шорсткості обробленої поверхні. Очевидно, що висота шорсткості поверхні буде тим значніша, чим більша подвоєна амплітуда коливань леза інструмента відносно оброблюваної поверхні.

Суттєво впливає на шорсткість оброблюваної поверхні стан верстата. Нові і добре відрегульовані верстати, встановлені на масивних фундаментах чи на віброопорах, добре ізольовані від вібрацій іншого обладнання, забезпечують мінімальну шорсткість.

Дуже важливим є створення достатньо високої жорсткості пристроїв для закріплення заготовок і допоміжних інструментів для встановлення різального інструмента. Наприклад, у випадку обробки заготовок на револьверному верстаті з прутка із закріпленням останнього в трикулачковому самоцентруючому патроні висота шорсткості обробленої поверхні на 30–40 % вища, ніж при затисканні прутка в нормальному цанговому патроні, який має більшу поверхню зіткнення із заготовкою і тому створює більшу її стійкість. Щоб запобігти появі вібрації вільного кінця прутка (який має звичайно діаметр на 3–4 мм менший отвору шпинделя), застосовують спеціальне центруюче кільце, яке закріплюється на лівому кінці шпинделя. Такі вібрації легко передаються на оброблювану поверхню і викликають збільшення шорсткості на 70–120 %.

Особливо відбивається вібрація технологічної системи на шорсткості обробленої поверхні при тонкому розточуванні на алмазно-розточувальних верстатах. При цьому зі зменшенням жорсткості та збільшенням піддатливості її технологічної системи амплітуда коливань вершини різця зростає, викликаючи відповідне підвищення зношування різця (рис. 7.20, *а*). Збільшення амплітуд коливань із зростанням піддатливості технологічної системи і збільшення глибини різання, а отже, і збільшення ширини леза супроводжується зростанням шорсткості обробленої поверхні (рис. 7.20, *б*).

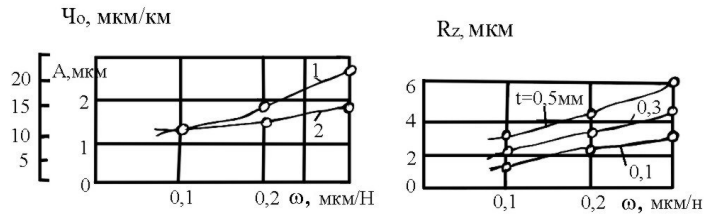


Рис. 7.20. Вплив податливості технологічної системи алмазно-розточувального верстата: а – на амплітуду коливань (1) і зношування інструменту (2); б – на шорсткість поверхні заготовки зі сталі 20Х, обробленої при V = 100м/хв; S = 0,14мм/об

При роботі на алмазно-розточувальних верстатах жорсткість технологічної системи зменшується зі збільшенням відношення довжини L розточувальної борштанги до її діаметра D. При зниженні жорсткості борштанги і збільшенні L/D шорсткість обробленої поверхні зростає. Наприклад, при розточуванні отворів ∅30 мм в деталях зі сталі 20Х на алмазно-розточувальному верстаті 2706 при V = 250 м/хв, S = 0,02 мм/об, t = 0,1 мм і L/D = 2 шорсткість поверхні R_a = 0,8 мкм, при L/D = 4 значення R_a = 1,35 мкм і при L/D = 5 значення R_a = 1,6 мкм.

Нерівномірність припуску, що знімається при тонкому розточуванні і обумовлює коливання сил різання, також може стати причиною вібрації технологічної системи, що збільшує шорсткість обробленої поверхні.

Формування шорсткості поверхні при різних видах механічної обробки (фрезеруванні, свердлінні, шліфуванні, викінчуванні тощо) підкоряється взагалі тим же закономірностям, що і при точінні. Характер цих закономірностей видозмінюється в залежності від зміни співвідношення впливу геометричних причин, пластичних деформацій та вібрацій, пов'язаних з особливостями окремих видів механічної обробки.

7.4. Вплив шорсткості та стану поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей машин

7.4.1. Вплив шорсткості поверхні

Тертя та зношування деталей значно пов'язані з висотою та формою нерівностей і напрямком штрихів обробки. У початковий період роботи поверхонь, що труться, їх контакт відбувається по вершинах нерівностей. В результаті цього фактична поверхня зіткнення складає лише невеликий відсоток від розрахункової. Тому в місцях фактичного контакту по вершинах нерівностей виникають великі тиски, які часто перевищують межу текучості і навіть межу міцності металів, що труться.

Під дією тисків при нерухомих поверхнях в точках контакту відбувається пружне стикання і пластична деформація зминання нерівностей, а при взаємному переміщенні поверхонь – зрізання, відламування і пластичний зсув вершин

нерівностей, що призводить до інтенсивного початкового зношування деталей, що труться, і до збільшення зазорів пари тертя.

Підвищеному початковому зношуванню в деяких випадках сприяють виникнення в точках контакту високих миттєвих температур і зрив окисної плівки, що покриває метали. Це супроводжується молекулярним зчепленням металів, що труться, і створенням вузлів схоплювання.

При роботі деталей в легких і середніх умовах висота нерівностей в період початкового зношування поверхонь, що труться, зменшується на 65–75 %, що призводить до збільшення фактичної поверхні їх контакту, а отже, до зниження фактичного тиску.

Під час початкового зношування, що відбувається в період припрацювання, відбувається зміна розмірів і форми нерівностей, а також напрямку слідів обробки. При цьому висота нерівностей зменшується, чи збільшується до деякого оптимального значення, яке різне для різних умов тертя. Якщо для даних умов тертя вдається досягти оптимальної висоти нерівностей в процесі механічної обробки, то в процесі експлуатації вона не змінюється, а час припрацювання і зношування виявляється найменшим.

Графіки зношування (рис. 7.21) показують, що при оптимальній висоті нерівностей (точки O_1 і O_2) початкове зношування металу є найменшим. В більш важких умовах роботи крива 2 зношування зміщується вправо і вгору, а точки оптимальної шорсткості – вправо і вбік збільшення висоти нерівностей.

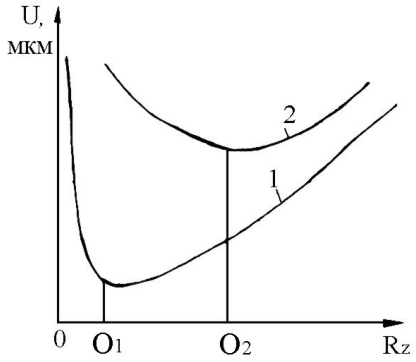


Рис. 7.21. Залежність зношування від висоти нерівностей поверхні

Збільшення висоти нерівностей проти оптимальної збільшує початкове зношування, а зменшення нерівностей проти оптимальної може призвести до молекулярного зчеплення пар тертя. Тому задачею конструктора, що проектує нові машини, є призначення оптимальної шорсткості, при якій зношування та коефіцієнт тертя за даних умов зношування був би мінімальним.

На рис. 7.22 показано, що через 160000 подвійних ходів зношування поверхні з нерівностями великого кроку досягає 60 мкм, а зношування поверхні з тонкими нерівностями малого кроку було менше 40 мкм.

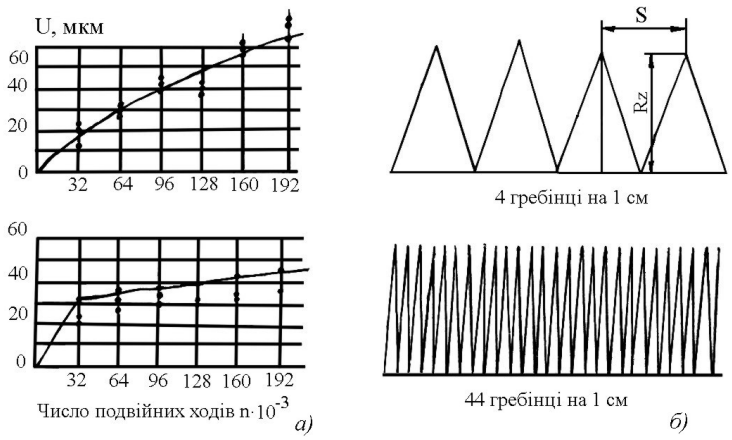


Рис. 7.22. Криві зношування (а) поверхонь з різною формою нерівностей (б) при однаковій висоті нерівностей R_z

Вплив напрямку нерівностей на зносостійкість різний у різних умовах тертя і при різних розмірах нерівностей. При рідинному терті і малій висоті нерівностей напрямок штрихів значення немає, проте при збільшенні шорсткості більш вигідним виявляється паралельний напрямок штрихів і швидкості руху.

При граничному терті поверхонь з малими значеннями R_a з паралельним напрямком нерівностей і вектором швидкості руху зношування та схоплювання, що виникають, виявляються більшими, ніж при поперечному напрямку нерівностей і руху подачі. Для поверхонь з великою шорсткістю, коли схоплювання не відбувається, паралельний напрямок штрихів дає найменше зношування.

Коефіцієнт тертя також пов'язаний з напрямком нерівностей та їх висотою. При сполученні поверхонь, що мають однаковий напрямок нерівностей, і при їх перпендикулярному напрямку до руху коефіцієнт тертя досягає найбільшого значення. При перпендикулярному напрямку нерівностей поверхонь, що труться, або при їх безладному розташуванні, що спостерігається при суперфінішуванні, коефіцієнт тертя мінімальний.

Точність сполучення, що встановлена кресленням і визначається зазором у з'єднанні, суттєво залежить від шорсткості сполучуваних поверхонь.

Раніше вказувалось, що в період початкового зношування висота нерівностей може зменшуватись на 65–75 %. При малих розмірах деталей і шорсткості поверхонь з R_z= 3÷10 мкм подвійна висота нерівностей $2R_z$ може бути співставленою з полем допуску на виготовлення деталі. Це означає, що в період початкового зношування поверхонь додатковий зазор в з'єднанні може досягнути значення допуску на виготовлення деталі, і точність з'єднання буде повністю порушена. Замість необхідного за кресленням з'єднання сьомого квалітету точності фактично виникає з'єднання восьмого або дев'ятого квалітету, порушується характер посадок тощо.

Для запобігання цього необхідно у всіх випадках відповідальних сполучень, від яких потрібне довготривале збереження встановленої конструктором точності, проводити обробку деталей при досягненні мінімальної шорсткості поверхонь, що труться.

При цьому рекомендується встановлювати необхідну висоту шорсткості в залежності від необхідної точності сполучення, що проектується, шляхом розрахунку за формулами:

- при діаметрі сполучення понад 50 мм:
  $R_z = (0,10 \div 0,15)T$;
- при діаметрі сполучення від 18 до 50 мм:
  $R_z = (0,15 \div 0,20)T$;
- при діаметрі сполучення менше 18 мм:
  $R_z = (0,20 \div 0,25)T$.

В цих формулах поле Т деталі і висота нерівностей R_z виражені в мкм.

Міцність пресованих з'єднань безпосередньо пов'язана з шорсткістю сполучуваних поверхонь. Зі збільшенням висоти нерівностей сполучуваних поверхонь міцність пресових з'єднань знижується. Наприклад, міцність пресового з'єднання маточини вагонного колеса з віссю при висоті нерівностей 36,5 мкм виявилась на 40 % нижчою міцності такого ж з'єднання з висотою нерівностей 18 мкм (не дивлячись на те, що натяг у другому випадку був на 15 % меншим).

Втомлена міцність деталей суттєво залежить від шорсткості їх поверхонь. Наявність на поверхні деталі, які працюють в умовах циклічного і знакозмінного навантаження, окремих дефектів і нерівностей сприяє концентрації напружень, які можуть перевищити межу міцності металу. В цьому випадку поверхневі дефекти і штрихи від обробки відіграють роль осередка виникнення субмікроскопічних порушень суцільного металу поверхневого шару і його розпушення, що є першопричиною створення втомлених тріщин.

Експериментальні графіки (рис. 7.23) показують, що при збільшенні параметра шорсткості відпаленої сталі 45 з R_z = 3,2 до R_z = 75 мкм межа її витривалості знижується з 285 до 200 МПа, тобто на 30 %. Особливо різко знижується межа витривалості при збільшенні шорсткості найбільш гладких поверхонь.

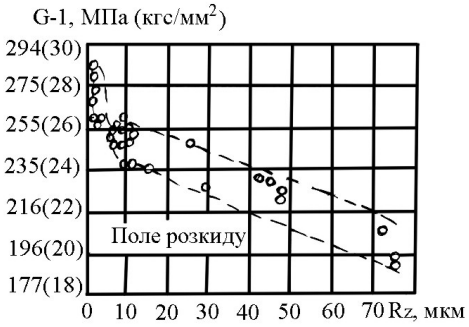


Рис. 7.23. Залежність межі витривалості від висоти нерівностей

На рис. 7.24 показано вплив напрямку нерівностей на межу витривалості сталі при згинанні. Із діаграми видно, що при поздовжньому напрямку нерівностей циклічна міцність при згинанні сталі 2Х13 на 10–15 % вища, ніж при поперечному розташуванні нерівностей. Ця закономірність проявляється при різних видах обробки.

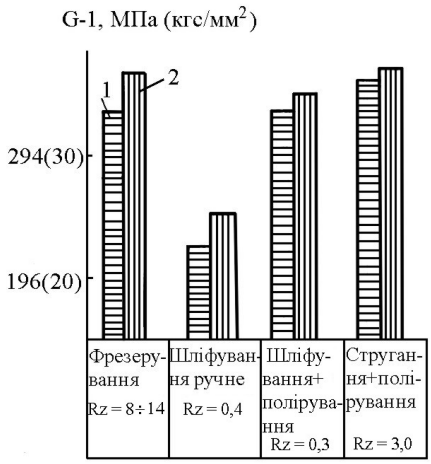


Рис. 7.24. Вплив напрямку штрихів обробки на межі витривалості зі сталі 2Х13:
1 *– напрямок штрихів поперек деталі;* 2 *– напрямок штрихів вздовж деталі*

Висота шорсткості, напрямок штрихів обробки, форма і крок нерівностей, розміри опорної поверхні та інші геометричні характеристики мікрорельєфу поверхні впливають й на інші важливі експлуатаційні властивості деталей машин і приладів, тобто зокрема і на їх міцність при ударному навантажені, контактну жорсткість, відбивну спроможність, коефіцієнт тепловіддачі, газову ерозію.

7.4.2. Вплив деформаційного зміцнення (наклепу) металу поверхневого шару

Зносостійкість деталей. Підвищенню зносостійкості деталей у більшості випадків сприяє попереднє зміцнення металу поверхневого шару, яке зменшує зминання і стирання поверхонь за наявності їх безпосереднього контакту, і взаємне проникнення поверхневих шарів, що виникає при їх механічній та молекулярній взаємодії: зміцнення збільшує дифузію кисню в метал поверхневого шару, створюючи в ньому тверді хімічні з'єднання FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4 характерні для окислювального зношування, що протікають з найменшою інтенсивністю, а також перешкоджають розвитку спільної пластичної деформації металів деталей, що труться, що викликає холодне зварювання схопленням, яке є найбільш інтенсивним видом зношування.

На рис. 7.25 показано зміну зношування валиків зі сталі У8А при їх терті – ковзанні з чавунними колодками зі змащенням в залежності від ступеня наклепу валиків після шліфування, вираженого мікротвердістю поверхневого шару. Графік ілюструє значне зменшення зношування зі збільшенням ступеня наклепу.

Позитивний вплив наклепу на зносостійкість поверхонь, що труться, проявляється тільки до певного ступеня початкового наклепу. Якщо при попередній обробці поверхні, що треться, ступінь пластичної деформації поверхневого шару перевищує певне для даного металу значення, то в металі починається процес його розпушення (розриви міжатомних зв'язків по площинах ковзання і субмікроскопічні

порушення суцільності металу), що відбувається одночасно з процесом зміцнення, який продовжується. Це явище називається **перенаклепом**.

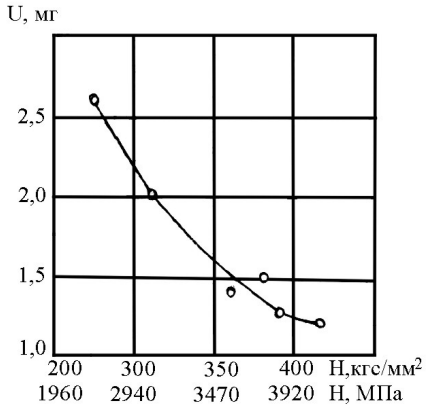


Рис. 7.25. Вплив наклепу на зношування стальних валиків

При подальшому збільшенні навантаження металу переміцнені і окрихчені зони металу відшаровуються від його основної маси; починається лущення і прискорене зношування металу. Таким чином, перенаклеп металу викликає різке падіння зносостійкості, а також знижує втомлену міцність деталей і деякі інші експлуатаційні властивості. У зв'язку з цим зміцнення металу поверхневого шару в процесі механічної обробки деталей при спеціальних зміцнюючих операціях (обкатка роликами і шариками, дрібоструминна обробка, тощо) слід провадити при суворо регламентованому наклепі що досягається, щоб запобігти виникненню перенаклепу.

Втомлена міцність деталей машин у значному ступеню залежить від зміцнення (наклепу) метала поверхневого шару. Зміцнення металу до певних меж зменшує амплітуду пластичної деформації і запобігає виникненню субмікроскопічних порушень суцільності (розпушення), що породжують розвиток втомлених тріщин.

Крім того, створення зміцненого наклепаного поверхневого шару перешкоджає зростанню існуючих і виникненню нових втомлених тріщин. Такий шар може значно нейтралізувати шкідливий вплив зовнішніх дефектів і шорсткості поверхні.

Дослідження деталей з твердим зміцненим шаром після циклічних навантажень, через які в металі виникають напруження, що перевищують межу втомленості, показує, що втомлені тріщини зароджуються не у зміцненому шарі деталі, а у глибині її. Створення подібних тріщин під зміцненим шаром і їх подальше збільшення відбувається при більш високих напруженнях і їх більшому числі циклів навантаження, ніж в умовах відсутності наклепу.

Вплив перелічених причин призводить до помітного підвищення втомної міцності деталей машин в результаті зміцнення металу їх поверхневого шару (рис. 7.26).

Результати численних досліджень показують, що при наклепі металу поверхневого шару підвищення циклічної міцності деталей машин, що працюють в умовах нормальної кімнатної температури, може досягти 25–30 %. При наклепі металу точінням і поліруванням межа витривалості підвищується на 20–25 % за

рахунок наклепу і на 12–15 % зростає за рахунок зниження висоти шорсткості при переході від точіння до полірування.

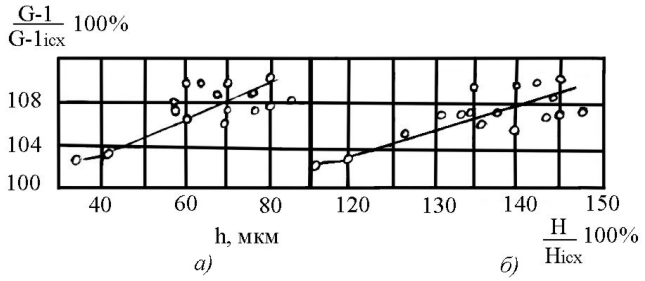


Рис. 7.26. Вплив глибини (а) і ступеня (б) наклепу, створеного точінням, на межі витривалості сталі 45

Вплив наклепу на корозійну стійкість. Пластична деформація та наклеп поверхневого шару металу протікають в різно орієнтованих зернах неоднакового складу з різною інтенсивністю, феритні зерна деформуються інтенсивніше перлітних. Це викликає підвищення енергії та різну зміну електродного потенціалу. Більш наклепані феритні зерна стають анодами, а менш наклепані перлітні зерна – катодами. З тих же причин виявляються різними і викривлення атомної решітки в різних кристалічних зернах.

В результаті пластичної деформації полікристалічного металу в ньому створюються мікронеоднорідності, що сприяють виникненню великої кількості корозійних мікроелементів. Найбільш активними ділянками металу у взаємодії із зовнішнім середовищем є зони площин зсувів і місця виходів дислокацій на поверхню. В цих зонах прискорюється адсорбція та розвиваються корозійні і дифузні процеси. В результаті цього холоднодеформована м'яка сталь може поглинути у 100 разів більше водню, ніж відпалена.

Механічна обробка, що викликає наклеп поверхневого шару і зміну шорсткості поверхні, суттєво впливає на корозійну стійкість металу. За даними проведених досліджень коефіцієнт самодифузії нікелю жароміцної сталі після електрополірування, коли наклепаний шар повністю усунений, при 700 °С складає 10^{-14} см^2/с, а після шліфування – $130 \cdot 10^{-14}$ см^2/с. В табл. 7.3 наводяться дані про втрату в масі зразків внаслідок корозії за 30 діб перебування у воді.

Таблиця 7.3

Втрати в масі стальних зразків від корозії за 30 діб перебування у воді

Вид обробки зразка	Втрати в масі, $\times 10^{-5}$ г/см^2	
	Сталь 20Х	Сталь У8А загартована
Шліфування	390	605
Точіння	465	645
Силове точіння	510	650
Обробка роликами	524	715

Наклеп і залишкові напруження поверхневого шару можуть стати однією з причин корозійного розтріскування сталі при її довготривалому статистичному навантаженні в корозійних середовищах. Зняття наклепу відпалюванням усуває в цих випадках і корозійне розтріскування.

Необхідно однак відмітити, що за певних умов створення наклепу деталей накатуванням роликами або обдуванням дробом відбувається завальцьовування шляхів проникнення корозійних середовищ у середину металу через дефекти поверхні, які пластично деформуються феритом. Це може нейтралізувати розвиток корозійних процесів і розвиток втомної міцності деталей.

Наклеп поверхневого шару значно знижує магнітні властивості магнітом'яких матеріалів типу пермалой, альфенол тощо. У зв'язку з цим при їх механічній обробці наклеп неприпустимий.

При робочій температурі понад 700–800 °С наклеп поверхневого шару в багатьох випадках виявляється шкідливим і знижує експлуатаційні якості деталей машин. Це відбувається тому, що після пластичної деформації металу поверхневого шару при кімнатній температурі збільшується його питомий об'єм і зменшується щільність. Ця обставина сприяє більш швидкому протіканню дифузійних процесів при високій температурі та вигоранню легованих елементів, і тим самим прискорює процеси, що знижують опір металу відриву.

Тривала дія високої температури на наклепаний метал швидко призводить до інтенсивного розміцнення його, що знижує загальні експлуатаційні властивості деталей.

Зі збільшенням ступеня і глибини наклепу жароміцних сплавів їх втомлена міцність при роботі в середовищі з високою температурою знижується (рис. 7.27). При глибині наклепу 190 мкм, що виникає при чорновому точінні, число циклів N до зруйнування сплаву при 700 °С виявляється приблизно у двічі нижчим, ніж після електрополірування, яке не викликає наклепу.

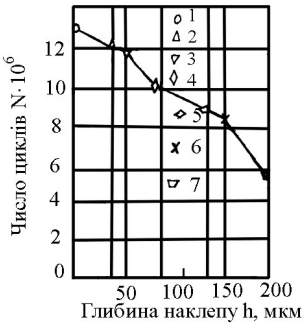


Рис. 7.27. Вплив, глибини наклепу при різних методах обробки жароміцного сплаву на число циклів N до його зруйнування при високих температурах:
1 – *електрополірування;* 2 – *полірування після шліфування;* 3 – *шліфування;*
4 – *полірування після точіння;* 5 – *чистове точіння;* 6 – *полірування;*
7 – *чорнове точіння*

Різними експериментами було показане суттєве зменшення тривалої міцності жароміцного сплаву в залежності від глибини наклепу, що виникає при різних видах обробки. З даних досліджень видно, що при значному наклепі, створюваному дробовоструминною обробкою та обкаткою роликами, тривала міцність при стогодинних дослідженнях знижується при 700 °С на 11,5–27 %, а при 800 °С – на 15–45 %. Навіть при чистовому точінні наклеп поверхневого шару зменшує тривалу міцність майже на 10 %.

Ще сильніше проявляється шкідливий вплив наклепу (як поверхневого, так і суцільного) на міцність жароміцних сплавів при циклічних нагріваннях (термовтомленість). Як показує діаграма на рис. 7.28, при 700 °С час Т до руйнування зразків, наклепаних обдуванням дробом і обкаткою роликами, відповідно у два і шість разів меншим, ніж у зразків без наклепу (оброблених електрополіруванням).

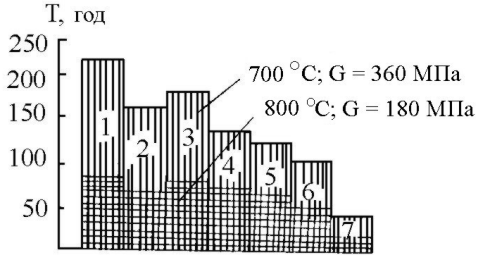


Рис. 7.28. Вплив наклепу при різних методах обробки жароміцного сплаву на час до його зруйнування при випробовуванні з циклічним нагріванням: 1 – електрополірування; 2 – шліфування; 3 – полірування після шліфування; 4 – полірування після точіння; 5 – точіння; 6 – обдування дрібом; 7 – обкатування роликом

При дослідженнях деяких структурно-стійких сталей при температурі 600–700 °С не спостерігалося шкідливого впливу наклепу, а в деяких випадках навіть була виявлена позитивна дія наклепу на міцнісні характеристики цих сталей. Отже, питання про вплив наклепу при помірних робочих температурах потребує в окремих випадках додаткових уточнень. Проте, в цілому вплив наклепу на міцність деталей машин, що працюють при високих робочих температурах, є шкідливим.

7.4.3. Вплив залишкових напружень

Зношування. При терті деталей в металі поверхневого шару відбуваються значні пластичні деформації, що викликають інтенсивний наклеп і великі залишкові напруження стискання.

На самому початку процесу тертя деталей залишкові напруження, які створені в їх поверхневому шарі попередньою обробкою та є за своєю природою пружними, знімаються під дією пластичних деформацій, що протікають, не встигнувши істотно якось вплинути на процес зношування.

Одночасно у поверхневому шарі в результаті тертя виникають залишкові

напруження стискання, які залежать від умов тертя і пластичних властивостей металів, що труться, і не залежать від величини і знака залишкових напружень, створених попередньою обробкою та існуючих у поверхневому шарі до початку тертя.

У зв'язку з цим величина і знак залишкових напружень поверхневого шару, створених попередньою обробкою, не впливають на швидкість та величину зношування при терті ковзання.

Цей висновок відноситься тільки до залишкових напружень поверхневого шару і нормальних умов тертя ковзання в режимі окислювального зношування.

Напружений стан всього перерізу деталі (наприклад, розтягуючі внутрішні напруження в стінках втулки, що напресована на іншу деталь; розтягуючі внутрішні напруження у пружновигнутій пластині) може впливати на характер та інтенсивність зношування. Можливим є і вплив напруженого стану при зношуванні в умовах пітінга, при якому значення мають явища втоми металу.

Втомлена міцність деталей суттєво залежить від величини, знака і глибини поширення залишкових напружень поверхневого шару. Численними дослідженнями встановлено, що за наявності у поверхневому шарі залишкових напружень стискання межа витривалості деталі підвищується, а за наявності залишкових напружень розтягування – знижується, причому залишкові напруження стискання суттєво підвищують межу витривалості, ніж знижують його такі ж за величиною залишкові напруження розтягування. Для сталей підвищеної твердості підвищення межі втомленості завдяки дії стискальних напружень досягає 50 %, а зниження його під дією розтягальних напружень – 30 %.

Вплив залишкових напружень на межу витривалості сталі особливо суттєвий, коли різниця в міцності сталі при розтягуванні та стисканні велика. У зв'язку з цим межа витривалості твердих сталей залежить від величини і знака залишкових напружень особливо сильно, в той час як у м'яких і пластичних сталей ця залежність проявляється менше.

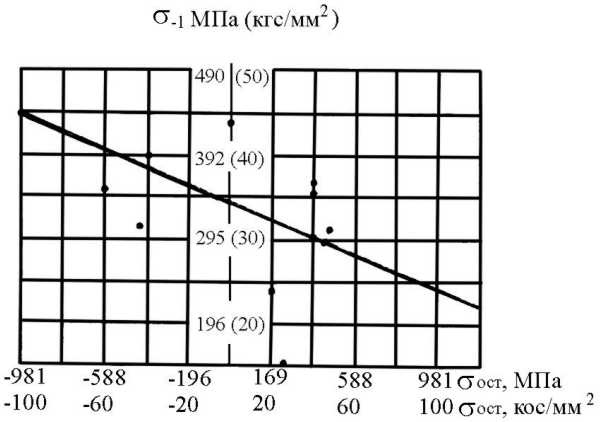


Рис. 7.29. Вплив залишкових напружень на втомлену міцність деталей зі сплаву ВТ3-1

Графік залежності межі витривалості металів і сплавів ВТ3–від величини і знака залишкових напружень, утворених при шліфуванні, показаний на рис. 7.29 і

свідчить про те, що між межею витривалості та залишковими напруженнями поверхневого шару існує прямий зв'язок, який може бути виражений співвідношенням виду:

$$\sigma_{-1} = A - B\sigma_{зал},$$

де σ_{-1} – межа витривалості металу після його шліфування;

$\sigma_{зал}$ – залишкові напруження поверхневого шару, що виникли в результаті шліфування, із врахуванням їх знака;

A і B – постійні величини.

Аналогічні співвідношення були отримані й для інших матеріалів і видів обробки. При цьому експерименти проводилися при кімнатних температурах, тому висновки не можуть відноситись до умов роботи деталей в зоні високих температур. При нагріванні деталей, що мають в поверхневому шарі залишкові напруження, відбувається релаксація напружень і їх вплив на межу витривалості послаблюється.

7.4.4. Вплив структурних змін металу поверхневого шару

Теплота, що виділяється в зоні різання при різних методах механічної обробки в певних умовах (напружені режими різання, притуплення різального інструмента і засалювання круга надто високої твердості, недостатнє охолодження тощо), викликає структурні зміни металу поверхневого шару.

При обробці металів, що піддаються загартовуванню, може відбутись часткове загартування металу поверхневого шару, а при обробці загартованих металів – відпущення різного ступеня.

Структурні зміни металу при його механічній обробці і, зокрема, припали поверхні, що шліфується, є серйозною причиною зниження довговічності деталей машин.

Ділянки м'якого відпущеного металу мають знижену зносостійкість. На рис. 7.30 показано, що деталі із загартованої сталі 40Х, яка має підпал поверхневого шару, зношуються значно інтенсивніше аналогічних деталей без підпалу.

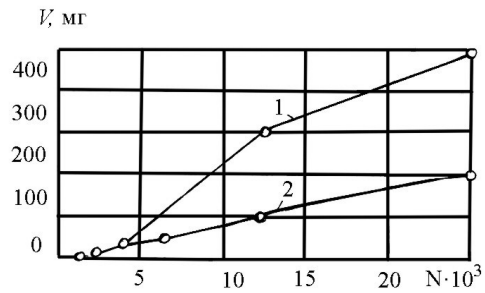


Рис. 7.30. Вплив шліфувального припалу на зношування стальних зразків:
1 – *з припалом* 2 – *без припалу*

Звичайно в зонах відпущеного металу, що має менший питомий об'єм, розвиваються залишкові напруження розтягування, які знижують втомлену

міцність деталей. При цьому на границях ділянок зміненої структури часто утворюються шліфувальні тріщини, які є осередками втомлених руйнувань деталей.

Межа витривалості зразків з підпалинами (рис. 7.31) значно нижча за межу витривалості зразків, виготовлених із загартованої сталі 40Х без підпалин.



Рис. 7.31. Вплив шліфувального припалу на межу витривалості сталі 40Х:
1 *– без припалу* 2 *– з припалом*

7.5. Технологічна спадковість

7.5.1. Поняття про технологічну спадковість

Вище було показано, що експлуатаційні якості деталей залежать не тільки від конструктивних форм і точності виготовлення деталей, складу і структури їх матеріалу та його механічних якостей, але й від окремих характеристик стану поверхневого шару, що сформувався в металі в процесі механічної обробки.

Зміна видів і режимів механічної обробки впливає на окремі характеристики стану поверхневого шару, а отже, і на експлуатаційні властивості деталей. У цьому розумінні доречно говорити про існування технологічної спадковості стану поверхневого шару і експлуатаційних властивостей деталей, що ним визначається, від окремих технологічних операцій і всього технологічного процесу їх виготовлення.

Технологічною спадковістю називається перенесення на готову деталь у процесі її обробки похибок, механічних і фізико-хімічних властивостей вихідної заготовки чи властивостей і похибок, що сформувалися у заготовці на окремих операціях виготовлення деталі.

Технологічна спадковість залежить не тільки від виду і режимів обробки, застосовуваних на чистовій операції. Вона може проявитися у зміні властивостей або у втраті точності форми готової деталі при її експлуатації в результаті дії тих чи інших елементів стану поверхневого шару, створених у поверхневому шарі деталі при її чорновій обробці.

Наприклад, шліфування грубо обточеної і загартованої заготовки з матеріалу ШХ15СГ призводить до повторного загартування окремих ділянок (рис. 7.32, *а*) і до виникнення зон відпущеного металу (рис. 7.32, *б*), що веде до створення різних

структур і виникнення залишкових напружень на їх границях [2].

Прояв технологічної спадковості може призвести як до покращення, так і до погіршення експлуатаційних властивостей деталей машин. Для доцільного використання явищ технологічної спадковості необхідно встановити безпосередні зв'язки між експлуатаційними характеристиками деталей (втомленою міцністю, зносостійкістю тощо) і режимами обробки заготовок при основних методах їх виготовлення.

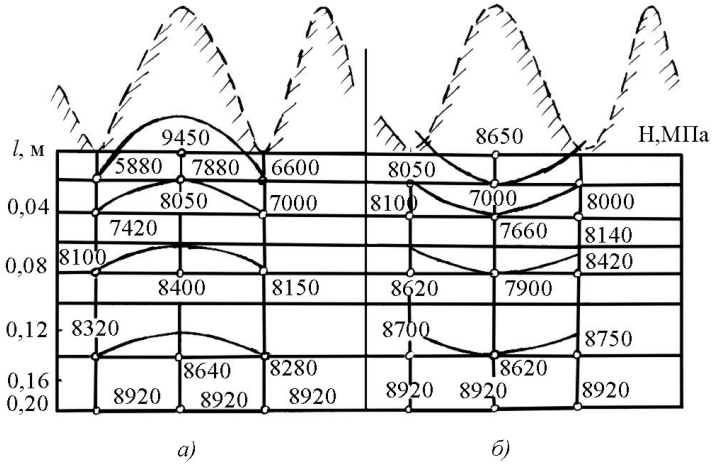


Рис. 7.32. Зміна мікротвердості поверхні грубо обточеної та загартованої сталі при шліфуванні

Це можуть бути математичні залежності. Як приклад на рис. 7.33 тут показана залежність втомленої міцності (а це – довговічність) жароміцної сталі ХН35ВТЮ (ЕИ787) від режимів точіння різцями ВК6М, виражена номограмою.

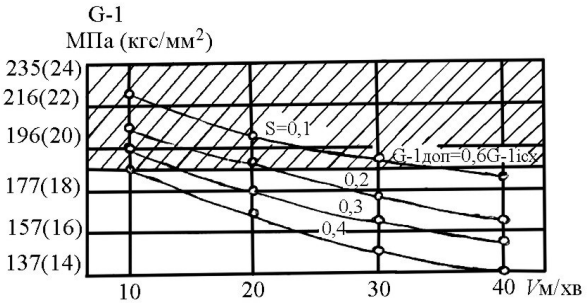


Рис.7.33. Номограма режимів точіння, які забезпечують задану довговічність деталей

Якщо не можна встановити математичні залежності, то цей зв'язок визначають експериментально.

7.5.2. Вплив режимів механічної обробки на експлуатаційні властивості деталей машин

Зносостійкість деталей машин. З рис. 7.34 видно, що при призначенні оптимальної глибини шліфування сталі 45, рівної 0,015 мм, початкове зношування валиків знижується на 32–60 %, а сполучених з ними чавунних втулок – на 50–60 %.

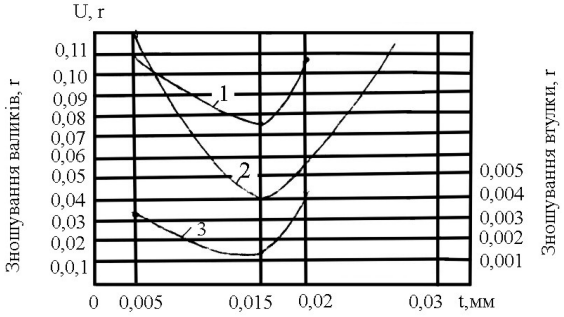


Рис. 7.34. Вплив глибини шліфування валика зі сталі 45 з $V_{заг}$ =47 м/хв. та поздовжньої подачі S = 1000 мм/хв на його зношування (1 і 2) і зношування спряженої з ним втулки із СЧ21-40 (3)

Результати досліджень показують, що зносостійкість плоских деталей з чавуну СЧ21-40 в умовах тертя (ковзання зі змащенням при зворотно-поступальному русі) змінюється в залежності від виду їх обробки у 3– 4 рази (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

Зношування плоских чавунних деталей за 72 години досліджень при терті зі змащенням

Вид обробки	R_a, мкм	Відносне зношування, %	
		p = 1,2 МПа	p = 2,74 МПа
Стругання	2,1	100	100
Фрезерування	1,8	71	62
Шліфування	1,6	55	58
Накатування шариками	1,0	24	29

На рис.7.35 зображена діаграма зношування втулок із загартованої сталі 40Х ∅40Н7×40 мм за 10 годин тертя з чавунним валом (СЧ21-40), що обертається зі швидкістю 1 м/с і діє на втулку з тиском 0,32 МПа при змащуванні веретенним маслом. Вона показує, що в деяких випадках цілком однакові за своєю точністю та шорсткістю поверхні деталей машин виготовлені за одним і тим же кресленням, а також прийняті і оцінені технологічним контролем як цілком рівноцінні, можуть мати різні експлуатаційні якості в залежності від технологічної спадковості, набутій деталями в процесі їх виготовлення. З діаграми видно, що зношування втулок, оброблених шліфуванням, з R_z = 0,8 мкм

при терті з суперфінішованим валом виявилося найменшим. Зношування втулок з тією ж шорсткістю, оброблених хонінгуванням, виявилося на 30 % більшим, а оброблених викінчуванням вільним абразивом – майже в три рази більшим, чим після обробки шліфуванням.

При терті з'єднань деталей, оброблених з R_z = 0,4 мкм, найбільше зношування знову – мають отвори, що викінчувані вільним абразивом, а найбільш зносостійкими виявляються хонінговані отвори при їх обробці з R_z = 0,2 мкм.

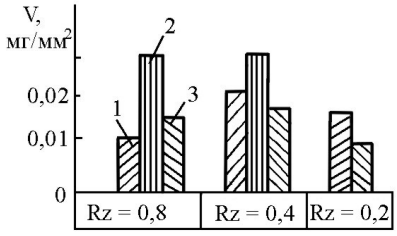


Рис. 7.35. Зношування втулок із загартованої сталі, оброблених шліфуванням (1), доведенням вільним абразивом (2) і хонінгуванням (3)

Втомлена міцність деталей машин суттєво залежить від видів і режимів обробки.

Зміна режимів фрезерування сталі 2Х13 циліндричними фрезами призводить до збільшення межі втомленості з 314 до 378 МПа, тобто на 18 % (рис.7.36). При цьому перехід від методу попутного (П) фрезерування до зустрічного (В) з незмінними режимами фрезерування підвищує межу втомленої міцності на 8–10 %.

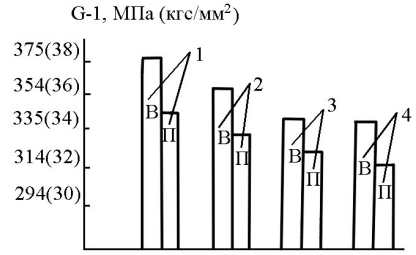


Рис. 7.36. Залежність межі витривалості сталі 2Х13 від режимів фрезерування: 1 – при V = 60 м/хв, S_z = 0,05 мм/зуб; 2 – при V = 60 м/хв, S_z = 0,16 мм/зуб; 3 – при V = 38 м/хв, S_z = 0,05 мм/зуб; 4 – при V = 19 м/хв, S_z = 0,12 мм/зуб

Криві, зображені на рис. 7.37, *а*, показують, що при точінні високоміцної сталі за допомогою зміни геометрії різця, зокрема, шляхом зміни його переднього кута, втомлену міцність можна підвищити на 36–63 %.

Збільшення швидкості різання при точінні високоміцної сталі, що сприймає загартування, веде до підвищення втомленої міцності на 12–30 % (рис. 7.37, *б*).

Збільшення подачі при точінні сталі 50 у зв'язку з її зміцненням при зростанні навантаження підвищує втомлену міцність, а при точінні загартованої сталі 30ХГСНА у зв'язку з її відпущенням знижує втомлену міцність (рис. 7.37, *в*).

Наведені результати різних експериментальних досліджень переконують у

можливості встановлення залежностей довговічності деталей від видів і режимів їх обробки і визначення видів обробки, найбільш сприятливих для підвищення довговічності деталей машин, але необхідно підкреслити, що при встановленні таких залежностей треба дуже ретельно вивчати фізичну сутність явища і границі дії якихось закономірностей.

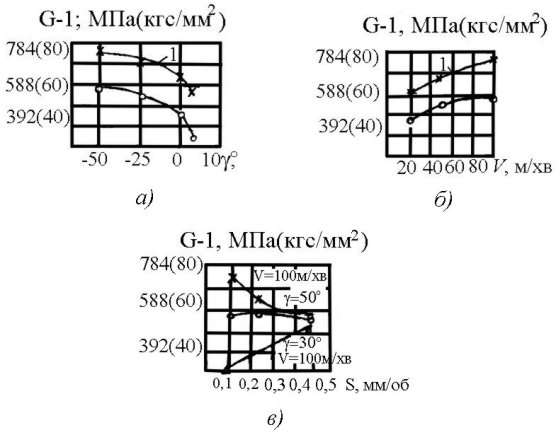


Рис. 7.37. Вплив геометрії різця при V = 100 м/хв, S = 0,1 мм/об (а), швидкість різання при γ = –50°; S = 0,1 мм/об та подачі (в) на межу витривалості сталі: 1 – сталь 30ХГСНА; 2 – сталь 30ХГСА; 3 – сталь 50

7.6. Спеціальні технологічні методи формування поверхневого шару

Цілеспрямоване формування поверхневого шару із заданими властивостями в процесі виготовлення деталі є однією з важливіших задач технології машинобудування.

Використовують наступні методи зміцнюючої обробки, що базуються на поверхнево-пластичному деформуванні матеріалу деталі.

Дробовоструминне наклепування застосовують для підвищення межі витривалості деталей зі сталі і кольорових сплавів, а також для зміцнення зварених швів. Наклепуванню піддають пружини, листи ресор, зубчасті колеса та інші деталі складних форм після їх кінцевої обробки. На якість поверхні впливають розмір і швидкість руху дробу, а також кут, під яким він ударяється об оброблювану поверхню, витрати дробу і тривалість обробки.

Глибина наклепу досягає 0,5–1,5 мм, вихідна твердість підвищується на 20–50 %, в поверхневому шарі утворюються стискуючі напруження 500–800 МПа, а під ним – розтягуючі. Термін служби пружин підвищується в 1,5–2 рази, зубчастих коліс – у 2,5 рази, ресор – у 10–12 разів. Після обробки дробом шорсткість поверхні R_a = 3,2–0,8 мкм, шорсткість грубооброблених (вихідних) поверхонь зменшується, а чистооброблених збільшується.

Обробці піддають незагартовані та термооброблені деталі, використовуючи

чавунний або стальний дріб діаметром 0,4–2 мм. Тривалість обробки – не більше 10 хв. Її проводять у спеціальних камерах за допомогою пневматичних або центробіжних дробометів.

Наклепування бойками (чеканку) здійснюють за допомогою пневматичних молотків. Робочим інструментом є сферичний ударник. Від його дії на поверхні залишаються вм'ятини. Метод застосовують для наклепування ділянок концентрації напружень великих деталей до їх кінцевої обробки.

Обкатування роликами і шариками застосовують для фінішної обробки зміцнення деталей. Обкатування циліндричних поверхонь проводять стальними загартованими або твердосплавними роликами, рідше – стальними шариками, закріпленими у державці. Обкатування перехідних поверхонь і канавок проводять радіусними роликами, а консольно закріплених нежорстких деталей (при обробці на автоматах) – за допомогою трироликових головок. Обкатування роликами після чистової обробки лезовим інструментом зменшує висоту мікронерівностей у 2–3 рази і збільшує несучу поверхню. Після обкатування обточених деталей зі сталі 45 зміцнюючими роликами їх межа витривалості може бути підвищена у 2 рази. Якщо метою обробки є зміцнення поверхні, то сили обкатування збільшують, проте в цьому випадку трохи знижується точність обробки.

Розкатування отворів виконують багатороликовими інструментами на свердлильних, токарно-револьверних, горизонтально-розточувальних, а також на токарних автоматах. При розкатуванні підвищується твердість поверхневого шару на 20–50 % і його зносостійкість у 1,5–2 рази. Такий же результат отримують при дорнуванні отворів шариками і калібрувальними оправками.

Розточений чи розвернутий за 8–7 квалітетами точності отвір можна довести розкатуванням або дорнуванням до 7–6 квалітету.

Обробка стальними щітками – ефективний метод зміцнення деталі на глибину 0,04–0,06 мм.

Щітки складаються зі сталевого дроту діаметром 0,3–0,1 мм, обертаються з коловою швидкістю 30–45 м/с, їх стійкість – декілька тисяч годин. При обробці щітками середньої жорсткості вихідна шорсткість зменшується у 2–4 рази. Через 4–6 с шорсткість поверхні досягає мінімального значення і далі починає різко збільшуватись з уворенням напливів. На першому етапі мікротвердість поверхневого шару зростає у 1,5–6 разів і далі продовжує зростати, збільшуючись в 3–4 рази проти вихідної. Процес може бути автоматизований для обробки деталей різних типів і розмірів.

Обробку дрібних деталей після механічної обробки проводять також у спеціальних барабанах, які наповнюються абразивними гранулами і вся маса піддається вібрації. При цьому знімаються заусениці, заокруглюються гострі кромки, частково знижується шорсткість та утворюється наклепаний шар.

Застосування методів зміцнюючої технології підвищує довговічність машин, скорочує потребу в матеріалах і запасних частинах, дозволяє зменшити габарити і масу деталей внаслідок підвищення допустимих напружень, а також знижує витрати на виготовлення та експлуатацію машин.

7.7. Методи вимірювання та оцінки якості поверхні

Шорсткість поверхонь оцінюють при контролі та прийманні деталей, а також при

дослідженнях в лабораторних умовах.

Методи оцінки, що застосовуються, можна поділити на прямі та непрямі. Для прямої оцінки шорсткості застосовують щупові (профілографи і профілометри) і оптичні (подвійний та інтерференційний мікроскопи) прилади. Для посередньої оцінки використовують еталони шорсткості та інтегральні методи.

Профілометри випускають стаціонарного і переносного типів. Вони дозволяють вимірювати шорсткість в межах 0,02–5 мкм. На шкалі профілометра оцінка шорсткості дається за параметром R_a або $H_{ск}$ (середнє квадратичне відхилення висоти мікронерівностей від середньої лінії профілю).

Профілографи застосовують для запису мікропрофілю поверхні (R_z = 0,025–80 мкм) у вигляді профілограм. При подальшій обробці знятої профілограми можуть бути отримані значення R_a і R_z для даної поверхні. Профілографи призначені для лабораторних досліджень і не придатні для цехового контролю.

Подвійний мікроскопи ПСС-2 і МИС-II призначені для вимірювання шорсткості поверхні R_z = 0,8–80 мкм. В цьому приладі мікронерівності освітлюють світловим променем, направленим під деяким кутом до контрольованої поверхні. Мікронерівності вимірюють за допомогою окулярного мікрометра або фотографують. Змінними об'єктивами досягають збільшення в 517 разів. На приладі визначають шорсткість поверхні за показником R_z.

Недолік методу – необхідність вимірювань і підрахунків результатів вимірювань.

Мікроскоп ПСС-2 застосовують при лабораторних дослідженнях та вибірковому контролі.

Мікроінтерферометри (МИИ-4) використовують для вимірювання шорсткості поверхні R_z = 0,025–0,6 мкм. Інтерференційні смуги викривлюються відповідно профілю мікронерівностей на ділянці поверхні, що розглядається. Висоту цих викривлень вимірюють окулярним мікрометром при збільшенні в 490 разів. Фотографування проводять при збільшенні в 290 разів.

Мікроінтерферометри застосовують при лабораторних дослідженнях і виробничому контролі прецизійних деталей.

Метод порівняння поверхні контрольованої деталі з атестованим еталоном шорсткості є найбільш простим.

Еталони повинні бути виготовленими з тих же матеріалів, що і контрольовані деталі, оскільки відбивна спроможність матеріалу (сталі, чавуну, кольорових сплавів тощо) впливає на оцінку шорсткості поверхні. Еталони необхідно обробляти тими ж методами, якими обробляють контрольовані деталі.

Інтегральні методи дозволяють посередньо оцінювати шорсткість поверхні за витратами повітря, що проходять через щілини, які утворюються западинами мікропрофілю і торцевою поверхнею сопла пневматичної вимірювальної головки, що обпирається на досліджувану поверхню.

Настроювання пневматичних приладів проводять за еталонними деталями.

Існують й інші методи посереднього вимірювання шорсткості.

Хвилястість поверхонь можна вимірювати на профілографах при великій базовій довжині і застосуванні ощупуючих голок з великим радіусом заокруглення вістря.

Для визначення глибини і загальної характеристики поверхневих шарів необроблених заготовок, а також після попередньої та чистової обробки різанням використовують метод дослідження мікрошліфів. Мікротвердість поверхневих шарів досліджують методом вдавлювання алмазної піраміди на приладі ПМТ-3. Найбільш

зручно досліджувати глибину поверхневого шару і зміну його мікротвердості в міру віддалення від поверхні по мікрошліфу, виконаному у вигляді косого зрізу під кутом $\alpha = 0°30'–2°$. Глибина наклепаного шару $h = \ell \operatorname{tg}\alpha$.

Косий зріз отримують притиранням, використовуючи пасту ДОІ, що зменшує можливість зміни поверхневого шару. Виготовлений зразок встановлюють на приладі так, щоб досліджувана поверхня розташувалася горизонтально. Потім алмазною пірамідою при навантаженні 500–1000 Н наносять відбитки, вимірюють їх діагоналі і визначають за таблицями твердості числа твердості. Наклепаний шар закінчується там, де мікротвердість для сусідніх відбитків виявиться однаковою.

Для дослідження зміни поверхневого шару після тонкої обробки застосовують рентгеноструктурний аналіз. Залишкові напруження у поверхневому шарі металу при цьому визначають, витравлюючи з поверхні зразка шари товщиною 5–10 мкм, і після кожного витравлювання знімають рентгенограму.

Цей метод довготривалий і трудомісткий, на зняття і обробку однієї рентгенограми потрібно приблизно 10 годин.

Зміни в шарах металу товщиною менше 5 мкм не вловлюються рентгеноаналізом. В цих випадках поверхневий шар досліджують методом структурної електронографії, що базуються на дифракції електронів і який дозволяє досліджувати побудову найтоншого поверхневого шару різних матеріалів.

Мікротріщини у поверхневому шарі визначають різними методами дефектоскопії (магнітної суспензії, магнітної індукції, ультразвуком, флуоресценції).

Залишкові напруження у поверхневих шарах після попередньої та чистової обробки досліджують, використовуючи методи Н.Н. Давиденкова або Г Закса. Ці напруження визначають за допомогою розрахунків за величиною деформації зразка після зняття з нього напруженого шару. Для тонких шарів можна застосувати рентгенівський метод, який базується на вимірюванні міжатомних відстаней в напруженому і ненапруженому металі.

Цей метод є неруйнуючим і дозволяє отримувати дані з площадок розміром 1–3 мм.

Перспективний безконтактний метод неруйнуючого дослідження мікродеформацій деталі для визначення залишкових напружень методом голографічної інтерферометрії. Він базується на дифракції та інтерференції електромагнітних сигналів і придатний для дослідження деталей простої та складної форм, дозволяє виявити області підвищеної концентрації залишкових напружень.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які групи параметрів характеризують якість поверхонь деталей машин?
2. Які параметри якості поверхонь деталей відносяться до фізико-механічних? Охарактеризуйте їх.
3. Які параметри якості поверхонь деталей відносяться до геометричних? Охарактеризуйте їх.
4. В чому полягає сутність деформаційного зміцнення (наклепу) металу? Назвіть фактори, що його обумовлюють.
5. Сформулюйте загальні причини виникнення залишкових напружень у поверхневому шарі при механічній обробці.
6. Як створюються і змінюються залишкові напруги у поверхневому шарі при

точінні різних матеріалів?

7. Як створюються і змінюються залишкові напруги у поверхневому шарі при шліфуванні та викінчуванні загартованих сталей.

8. Сформулюйте загальні причини виникнення шорсткості поверхні.

9. Наведіть схеми геометричних причин виникнення шорсткості поверхні.

10. Якими технологічними заходами можна зменшити шорсткість поверхонь, що обумовлена геометричними причинами?

11. Як впливають на жорсткість поверхні пластичні та пружні деформації металу поверхневого шару при:

- зміні швидкості різання;
- зміні подачі та глибини різання;
- обробці матеріалів з різною структурою;
- застосуванні мастильно-охолоджуючої рідини?

12. Як впливають на шорсткість поверхні вібрації різального інструмента, верстата і заготовки?

13. Як впливає шорсткість поверхні деталі на: тертя та зношування; точність сполучення з іншими деталями; міцність пресових з'єднань; втомлену міцність деталей?

14. Як впливає деформаційне зміцнення металу поверхневого шару на: зносостійкість, втомлену міцність та корозійну стійкість деталей?

15. Як впливають залишкові напруження поверхневого шару деталей на зношування, втомлену міцність?

16. Як впливають структурні зміни металу поверхневого шару на механічні властивості деталей?

17. Що розуміється під терміном "технологічна спадковість"?

18. Як з точки зору "технологічної спадковості" впливають режими різання на механічні властивості деталей машин (зносостійкість, втомлену міцність)?

19. Охарактеризуйте спеціальні технологічні методи формування поверхневого шару деталей машин.

20. Охарактеризуйте методи вимірювання та оцінки якості поверхонь деталей машин.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К. 1993. – 544 с.

2. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М., 1985. – 496 с.

3 Основы технологии машиностроения / Под ред. В.С. Корсакова – М., 1977. – 416 с.

4. Справочник технолога-машиностроителя / Под. ред. А.Г. Косиловой, О.К Мищерякова. Т. 1. – М.. 1985. – 655 с.

5. Руденко П.А., Шуба В.А и др. Отделочные операции в машиностроении. – К.: Техника, 1990. – 150 с.

Тема 8. Припуски на механічну обробку

8.1. Загальні відомості про припуски на обробку

Креслення вихідної (початкової) заготовки відрізняється від креслення готової деталі наявністю на всіх оброблюваних поверхнях припусків на наступну обробку.

В машинобудуванні при обробці матеріалу розрізняють такі види припусків: загальний припуск на обробку, операційний, що задається на операцію і проміжний, що задається на перехід.

Загальним припуском на обробку називається шар металу, який повинен бути видалений в результаті виконання всіх передбачених технологічним процесом операцій механічної обробки для отримання готової деталі з заданими розмірами і шорсткістю поверхні.

Загальний припуск дорівнює:

$$Z_з = \sum_{i=1}^{n} Z_i ,$$

де Z_i – операційні припуски;

n– число операцій.

Операційним припуском називається шар металу, що видаляється при виконанні даної операції.

Операційний припуск дорівнює

$$Z_i = \sum_{i=1}^{m} Z_{пр} ,$$

де $Z_{пр}$ – проміжний припуск;

m– кількість переходів.

Проміжний припуск – це припуск, тобто шар металу, що видаляється за один перехід.

Визначення оптимальних припусків на обробку тісно пов’язане зі встановленням проміжних та початкових розмірів заготовки.

Ці розміри необхідні для конструювання штампів, моделей, прес-форм, стрижневих ящиків, пристроїв, спеціального різального та вимірювального інструмента, а також для настроювання металорізальних верстатів та іншого технологічного обладнання.

На основі визначених припусків можна обгрунтовано визначити масу початкових заготовок, режими різання, а також норми часу на виконання операцій механічної обробки.

Величина припуску, що задається, головним чином залежить від методу виготовлення заготовки деталі при вибраному технологічному процесі, товщини дефектного шару і стану обладнання, на якому виготовляють заготовки. Припуски на обробку вимірюються по нормалі до оброблюваної поверхні і задаються звичайно в мм на сторону. Спосіб задання припуску (на сторону чи діаметр) обов’язково оговорюється в технології.

При обробці будь-якої деталі операційні розміри, як правило, не можуть бути

витримані абсолютно точно, тому фактична величина припуску коливається в деяких межах. У зв'язку з цим розрізняють *мінімальний, номінальний (розрахунковий)* і *максимальний* припуски.

8.2. Розрахункові схеми розташування припусків і допусків для різних методів отримання заданої точності обробки

8.2.1. Схеми для методу пробних ходів

Така схема показана на рис. 8.1. На ній розглянута токарна обробка та шліфування зовнішньої поверхні типу вала.

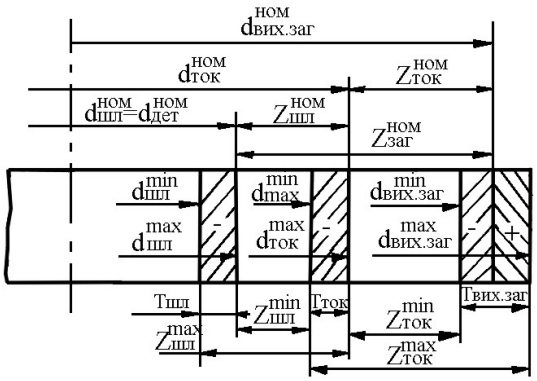


Рис. 8.1. Схема розташування припусків і допусків при токарній обробці та шліфуванні вала

З наведеної схеми випливає, що загальний номінальний припуск на обробку дорівнює:

$$Z^{ном}_{заг} = d^{ном}_{вих.заг} - d^{ном}_{дет}$$

або

$$Z^{ном}_{заг} = \sum_{i=1}^{n} Z^{ном}_{i} \ .$$

Максимальний припуск на виконуваній технологічній операції складається з мінімального припуску та допусків на цю та попередню операції:

$$Z^{max}_{i} = Z^{min}_{i} + Td_i + Td_{i-1} \ ,$$

де Td_i – допуск розміру на виконуваній операції (виконуваному переході);

Td_{i-1} – допуск розміру на попередній операції (попередньому переході).

Допуски також можна позначити T_i та T_{i-1}.

У загальному випадку аналогічні схеми для обробки внутрішніх та зовнішніх поверхонь без вказання назв технологічних операцій мають вигляд, показаний на рис. 8.2 та 8.3.

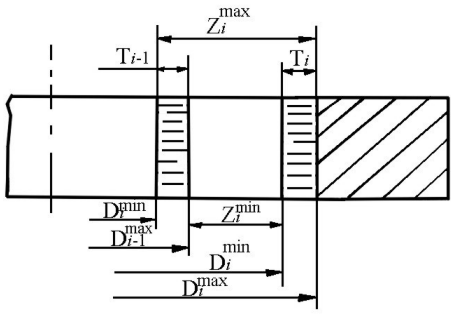


Рис. 8.2. Розрахункова схема для визначення проміжних розмірів отворів та внутрішніх лінійних розмірів

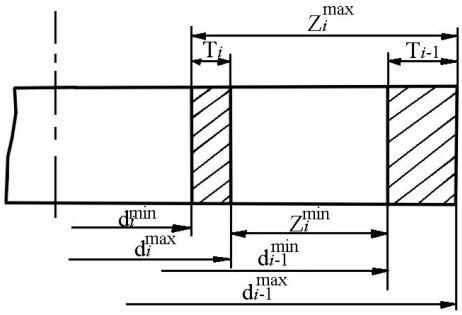


Рис. 8.3. Розрахункова схема для визначення проміжних розмірів валів та зовнішніх лінійних розмірів

Розрахунок проміжних розмірів, виходячи з наведених схем, виконується за формулами:

– для зовнішніх поверхонь:

$$a_{i-1}^{min} = a_i^{min} + T_i + Z_i^{min};$$

$$a_{i-1}^{min} = a_i^{max} + Z_i^{min};$$

$$a_{i-1}^{max} = a_i^{min} + T_{i-1} + Z_i^{min};$$

$$a_{i-1}^{min} = a_i^{min} + Td_i + 2Z_i^{min};$$

$$a_{i-1}^{min} = a_i^{max} + 2Z_i^{min};$$

$$a_{i-1}^{max} = a_i^{max} + Td_{i-1} + 2Z_i^{max};$$

– для внутрішніх поверхонь:

$$a_{i-1}^{min} = a_i^{min} - Z_i^{min} - T_{i-1};$$

$$a_{i-1}^{max} = a_i^{max} - T_i - Z_i^{min};$$

$$a_{i-1}^{max} = a_i^{min} - Z_i^{min};$$

$$D_{i-1}^{min} = D_i^{min} - 2Z_i^{min} - TD_{i-1};$$
$$D_{i-1}^{max} = D_i^{max} - TD_i - 2Z_i^{min};$$
$$D_{i-1}^{max} = D_i^{min} - 2Z_i^{min}.$$

8.2.2. Схеми для методу автоматичного отримання розмірів

Щоб ясніше уявити, звідки беруться зміни у розрахункових схемах та формулах цього методу, спочатку розглянемо реальну схему обробки на фрезерному верстаті двох заготовок з гранично допустимими значеннями розмірів від попередньої обробки (рис. 8.4).

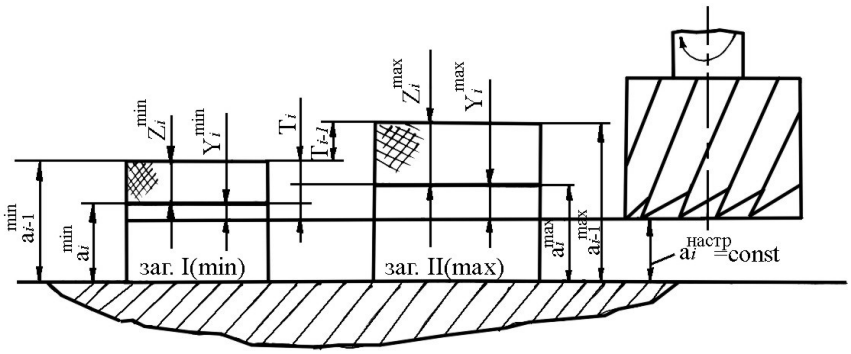


Рис. 8.4. Схема фрезерування заготовок на налагодженому верстаті

Таким чином, при обробці на розмір $a_i^{настр} = const$ у заготовки з мінімальним попереднім розміром a_{i-1}^{min} буде знято мінімальний припуск Z_i^{min} при мінімальному відтисненні Y_i^{min}, і буде отриманий остаточний розмір a_i^{min}. В той же час у заготовки з максимальним попереднім розміром a_{i-1}^{max} буде отриманий також максимальний остаточний розмір a_i^{max}.

Як видно з наведеної схеми, мінімальний припуск Z_i^{min} у цьому випадку включає в себе допуск на виконуваній операції T_i, а максимальний припуск Z_i^{max} – допуск попередньої операції T_{i-1}. Із врахуванням цих особливостей методу автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах розрахункові схеми для визначення проміжних розмірів змінюють свій вигляд (рис. 8.5, 8.6).

Розрахунок проміжних розмірів для зовнішніх поверхонь ведеться за формулами:

$$a_{i-1}^{min} = a_i^{min} + Z_i^{min};$$
$$a_{i-1}^{max} = a_i^{max} + Z_i^{max};$$
$$a_{i-1}^{max} = a_i^{max} + Z_i^{min} + T_{i-1};$$

$$d_{i-1}^{min} = d_i^{min} + 2Z_i^{min};$$

$$d_{i-1}^{max} = d_i^{max} + 2Z_i^{max};$$

$$d_{i-1}^{max} = a_i^{max} + 2Z_i^{min} + Td_{i-1}.$$

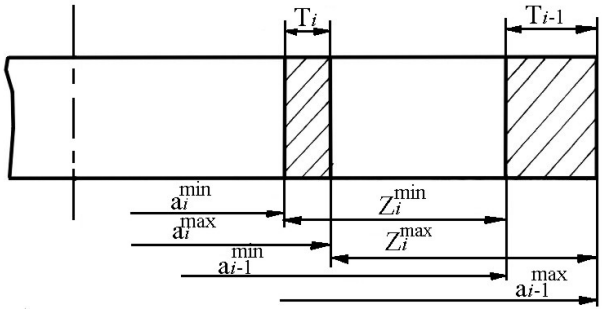


Рис. 8.5. Розрахункова схема для зовнішніх поверхонь (метод автоматичного отримання розмірів)

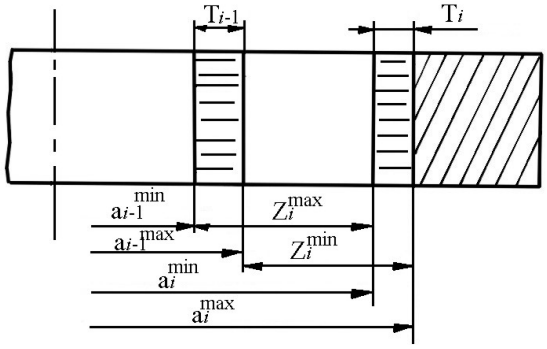


Рис. 8.6. Розрахункова схема для внутрішніх поверхонь (метод автоматичного отримання розмірів)

Розрахунки проміжних розмірів для внутрішніх поверхонь ведуться за формулами:

$$a_{i-1}^{min} = a_i^{min} - Z_i^{max};$$

$$a_{i-1}^{min} = a_i^{max} - Z_i^{min} - T_{i-1};$$

$$a_{i-1}^{max} = a_i^{max} - Z_i^{min};$$

$$D_{i-1}^{min} = D_i^{min} - 2Z_i^{max};$$

$$D_{i-1}^{min} = D_i^{max} - 2Z_i^{min} - TD_{i-1};$$

$$D_{i-1}^{max} = D_i^{max} - 2Z_i^{min}.$$

8.3. Визначення величини мінімального операційного припуску

Всі розрахункові залежності, що наведені вище, свідчать, що в основі розрахунків лежить величина мінімального операційного припуску. Допуски на всі операції, чи переходи технологічного процесу легко знайти у довідках згідно з точністю прийнятих методів обробки. Таким чином, задача може бути зведена лише до визначення найбільш точних величин мінімальних припусків.

За теорією професора В.М. Кована, мінімальний операційний припуск обчислюється із врахуванням компенсації дефектів і похибок попередньої обробки, а також похибок встановлення заготовки на виконуваній операції. Відповідно до цієї теорії, мінімальний операційний припуск при послідовній обробці дорівнює:

$$Z_i^{min} = R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{\sum_{i-1}} + \varepsilon_i ,$$

де $R_{Z_{i-1}}$ – шорсткість поверхні на попередній операції;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару після попередньої операції;

$\Delta_{\sum_{i-1}}$ – сумарне відхилення розташування поверхні (відхилення від перпендикулярності, паралельності, співвісності тощо), а в деяких випадках відхилення форми поверхні на попередній операції;

ε_i – похибка встановлення заготовки на виконуваній операції.

Ця похибка приблизно розраховується за формулою:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2} ,$$

де $\varepsilon_б$ – похибка базування заготовки;

$\varepsilon_з$ – похибка закріплення заготовки.

При обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання (двобічний припуск з випадковим просторовим розташуванням похибок $\Delta_{\sum_{i-1}}$ та ε_i) мінімальний операційний припуск дорівнює:

$$2Z_i^{min} = 2\left((R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta^2_{\sum_{i-1}} + \varepsilon_i^2} \right).$$

Режими різання розраховуються і вибираються за максимальними припусками. У всіх технологічних розрахунках розглядаються номінальні припуски.

Правильний розрахунок і вибір припусків та операційних допусків при механічній обробці деталі є основою при складанні технологічного процесу, оскільки від нього залежить її собівартість, якість, довговічність та надійність.

Вплив величини припуску на економічність процесу обробки великий. Чим більший припуск, тим більше проходів потрібно для зняття відповідного шару металу що призводить до збільшення трудомісткості процесу, зайвих витрат електроенергії, різального інструмента, збільшує кількість стружки, з'являється необхідність у збільшенні парка обладнання і виробничих площ.

Зменшені припуски не забезпечують можливості видалення дефектних поверхневих шарів металу, отримання потрібної точності та шорсткості, тобто призводять до браку.

Для визначення оптимальних припусків у машинобудуванні застосовують декілька методів розрахунку, сутність яких буде розглянуто в розділі "Розробка технологічних процесів".

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Як класифікуються припуски на механічну обробку? Їх визначення та характеристика.
2. Від яких факторів залежить величина припусків?
3. Зобразіть схему для визначення проміжних розмірів валів та зовнішніх лінійних розмірів при обробці за методом пробних ходів.
4. Зобразіть схему для визначення проміжних розмірів та внутрішніх лінійних розмірів при обробці за методом пробних ходів.
5. Наведіть формули для розрахунку проміжних розмірів для зовнішніх поверхонь при обробці за методом пробних ходів.
6. Наведіть формули для розрахунку проміжних розмірів для внутрішніх поверхонь при обробці за методом пробних ходів.
7. У чому полягає суттєва різниця в схемах розташування припусків при обробці за методом пробних ходів та при роботі на налагоджених верстатах?
8. Зобразіть схему для визначення проміжних розмірів валів та зовнішніх лінійних розмірів при автоматичному отриманні розмірів.
9. Зобразіть схему для визначення проміжних розмірів отворів та внутрішніх лінійних розмірів при автоматичному отриманні розмірів.
10. Наведіть формули для розрахунку проміжних розмірів для зовнішніх поверхонь при автоматичному отриманні розмірів.
11. Наведіть формули для розрахунку проміжних розмірів для внутрішніх поверхонь при автоматичному отриманні розмірів.
12. Як визначається мінімальний припуск на механічну обробку за методом проф. В.М. Кована?
13. Охарактеризуйте складові формули для визначення мінімального припуску на механічну обробку.
14. Як величина припуску впливає на якість та економічність механічної обробки?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М., 1969. – 559 с.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М., 1985. – 496 с.

Тема 9. Продуктивність та економічність механічної обробки деталей

Продуктивність та економічність механічної обробки деталей залежить від багатьох факторів, головні з яких – матеріаломісткість та трудомісткість.

Далі розглянемо більш детально ці фактори.

9.1. Продуктивність та собівартість обробки

Продуктивність та собівартість обробки заготовок істотно залежить від пред'явлених вимог точності та шорсткості поверхонь деталей, що виготовляються.

Графіки, зображені на рис. 9.1, показують, що зменшення допусків на обробку і висоти мікронерівностей оброблених поверхонь підвищує трудомісткість та собівартість обробки приблизно за законом гіперболи. Це пояснюється тим, що зростає основний час у зв'язку з появою додаткових ходів і зниженням режимів різання, збільшується допоміжний час, пов'язаний з контрольними операціями, встановленням, вивіренням положення заготовки на верстаті, встановленням різального інструмента на розмір (при роботі за методом пробних ходів), застосовуються більш складні та точні, а отже, і більш дорогі верстати, зростають затрати на різальний інструмент і в ряді випадків застосовуються більш дорогі способи обробки.

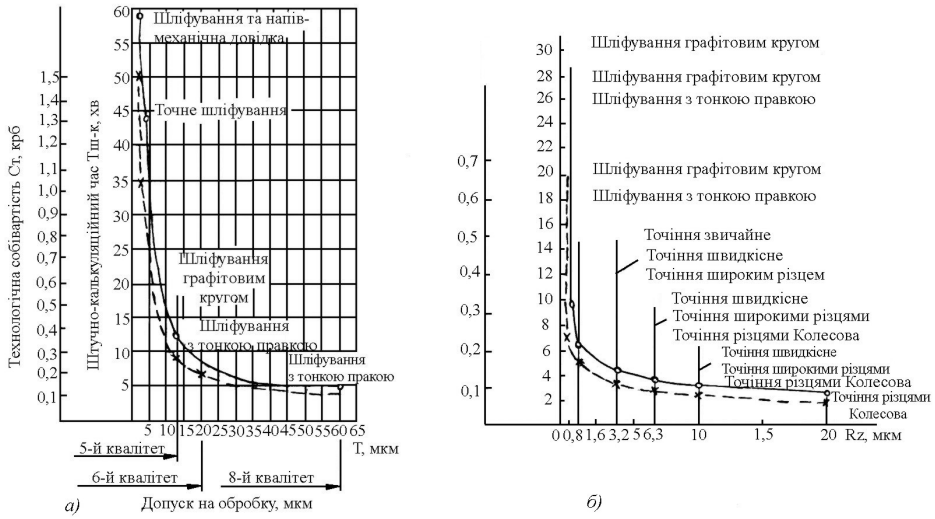


Рис. 9.1. Залежність трудомісткості та собівартості заготовок від точності і шорсткості поверхні: а – вал Ø60×200 мм із загартованої сталі; б – вал Ø60×300 мм з сирої сталі Т8; 0-0 – штучно-калькуляційний час; х-х *– технологічна собівартість*

Діаграми наведені на рис. 9.2, показують, що при підвищенні точності обробки

стальних валиків діаметром 10–18 мм на токарно-револьверних верстатах з 11-го до 7-го квалітетів фактично сумарні затрати часу на обробку, встановлення різця на розмір і на вимірювання заготовок зростають у три рази. При цьому особливо різко збільшуються затрати часу на контроль заготовки. Так, наприклад, якщо при підвищенні точності обробки з 10-го до 7-го квалітетів машинний час і час встановлення різця на розмір збільшується майже в два рази, то час на контрольні вимірювання заготовок зростають у сім разів. Крім того, в процесі точної обробки з'являється брак, затрати на який складають 2 % загальної вартості обробки заготовок при обробці за 8-м і 17 % вартості при обробці за 7-м квалітетом. При подальшому підвищенні точності обробки до 6-го квалітету затрати на брак досягають 32 % вартості обробки заготовок.

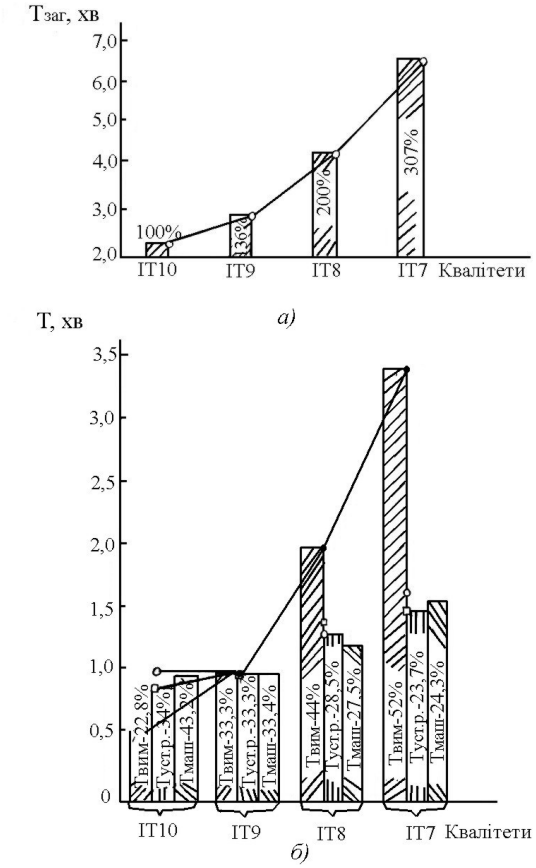


Рис. 9.2. Залежність трудомісткості обробки від необхідної точності: а – сумарні витрати часу $T_{заг}$*; б – окремі елементи витрат часу:* $T_{маш}$ *– машинний (основний) час,* $T_{уст.р}$ *– час на встановлення різця,* $T_{вим}$ *– час на вимірювання*

Задана кресленням точність обробки і потрібна шорсткість поверхні можуть бути досягнуті при використанні різних видів обробки, різних верстатів, інструментів і пристроїв. Так, наприклад, отвір 9-го квалітету точності з R_z = 6,3 мкм може бути

отриманий у стальній заготовці шляхом звичайного розточування швидкорізальними і твердосплавними різцями, розвертанням, протягуванням та прошиванням, алмазним розточуванням, шліфуванням, хонінгуванням і розкатуванням роликами і шариками.

До основних і найбільш об'єктивних критеріїв доцільності вибору найбільш придатного для даних конкретних умов варіанта обробки належать його продуктивність та економічність. Навіть при обробці заготовок певним способом необхідно встановити економічність застосування того або іншого типорозміру верстата чи технологічного оснащення.

На рис. 9.3 показана зміна трудомісткості тонкого розточування отворів діаметром Ø40×80 мм за 7-м квалітетом з R_z = 6,3 мкм і R_z = 10,0 мкм в стальних заготовках, виконуваного на верстатах різних типів при найвигідніших режимах різання з пластинками Т15К6. З діаграм видно, що найбільш висока продуктивність операції тонкого розточування досягається при обробці на спеціальному алмазно-розточувальному верстаті. Виконання тих же операцій на горизонтально-фрезерному верстаті збільшує трудомісткість на 40–50 %, а на токарних верстатах – на 65–80 %.

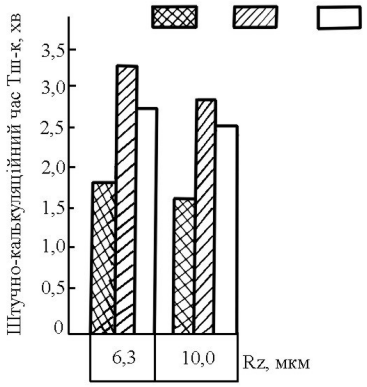


Рис. 9.3. Трудомісткість тонкого розточування отворів на різних верстатах: 1 – спеціальний алмазно-розточувальний; 2 – токарний; 3 – горизонтально-фрезерний

Економічність механічної обробки залежить не тільки від потрібної точності, застосовуваних методів обробки і верстатів. Вона змінюється також в залежності від застосування режимів різання.

На рис. 9.4 показано, що із збільшенням швидкості різання трудомісткість та собівартість обробки спочатку знижується, а потім, переходячи через деяке мінімальне значення V°с і V°т, зростають (у зв'язку зі збільшенням зношування різального інструменту і затрат часу на його заміну). При цьому важливо відмітити, що оптимальні швидкості різання, що відповідають мінімальним затратам часу T_{min} і мінімальній собівартості C_{min}, не збігаються. Швидкість різання, яка оптимальна за собівартістю, завжди менша за оптимальну швидкість за продуктивністю. Чим дешевший різальний інструмент і менша частка затрат на нього в загальній собівартості обробки, тим вище оптимальна швидкість різання за собівартістю обробки і тим ближче вона підходить до оптимальної швидкості різання за продуктивністю.

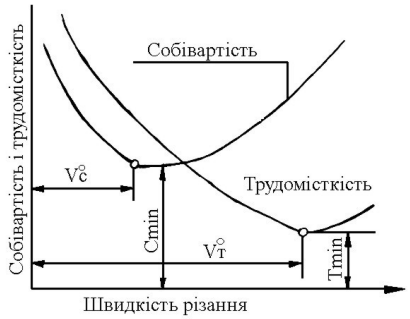


Рис. 9.4. Залежність трудомісткості та собівартості обробки від швидкості різання

Вибір швидкості різання за найбільшою продуктивністю чи за найменшими затратами здійснюється для кожного конкретного випадку із врахуванням обставин, що склалися (ступеня терміновості завдання, ступеня завантаженості даного верстата, можливості інструментального цеху поповнювати підвищене витрачання інструмента тощо). В будь-якому випадку швидкість різання не повинна виходити за межі оптимальних швидкостей за продуктивністю та собівартістю.

Співставлення ефективності технологічних варіантів за критеріями продуктивності та собівартості може призвести в окремих випадках до різних висновків. Так, наприклад, при співставленні розточування отвору діаметром 30×40 мм за 7-м квалітетом з шорсткістю R_z = 6,3 мкм в стальних заготовках швидкорізальним різцем Р18 на токарному верстаті ІК62 і протягування в серійному виробництві отримані наведені нижче дані:

Технологічна собівартість, грн:
при протягуванні …….. 0,11
при розточуванні …….. 0,11
Трудомісткість (штучно-калькуляційний час, хв.):
при протягуванні …… 1,06
при розточуванні ……. 3,63

Наведений приклад показує, що при співставленні ефективності технологічних процесів не потрібно обмежуватись визначенням тільки собівартості обробки, а іноді необхідно підрахувати як собівартість, так і трудомісткість обробки.

У відповідальних випадках визначення економічної ефективності технологічних процесів необхідно вести розрахунок за двома її основними критеріями: продуктивністю (чи трудомісткістю), що виражає штучно-калькуляційний час, і собівартістю, представленою у вигляді технологічної собівартості. Коли у варіантів технологічних процесів, що співставляються, затрати на різальний інструмент розрізняються несуттєво, можна обмежитись співставленням ефективності процесів тільки за одним із вказаних критеріїв економічності. Якщо один з варіантів, що співставляються, пов’язані із застосуванням дорогокоштуваного обладнання або

спеціального технологічного оснащення, аналіз економічності потрібно доповнити розрахунком приведених затрат.

Економічна ефективність технологічних процесів суттєво залежить від масштабів річного випуску виробів і розмірів партії заготовок, що запускаються у виробництво. Відомо, що придбання високопродуктивних, але дорогокоштуваних багатошпиндельних автоматів окуплюється тільки при достатньо великій кількості виробів, що випускаються. З іншого боку, структура і загальна сума затрат по експлуатації верстатів різного типу суттєво відрізняються.

На рис. 9.5 показана залежність складових затрат собівартості від виду обладнання, а також від кількості продукції, що випускається. З рисунка видно, що при використанні простих і дешевих токарних і револьверних верстатів основна частина собівартості обробки припадає на частку заробітної плати, яка досягає 80–90 %. При переході до високопродуктивних автоматів частка заробітної плати у загальній собівартості знижується до 55 % для одношпиндельного і до 20 % для шестишпиндельного автомата. Відповідно зростає частка затрат на амортизацію (до 35 %) і освоєння (до 29 %) верстата. Підвищенні експлуатаційні витрати окуплюються за рахунок високої продуктивності верстата при достатньо великому випуску продукції.

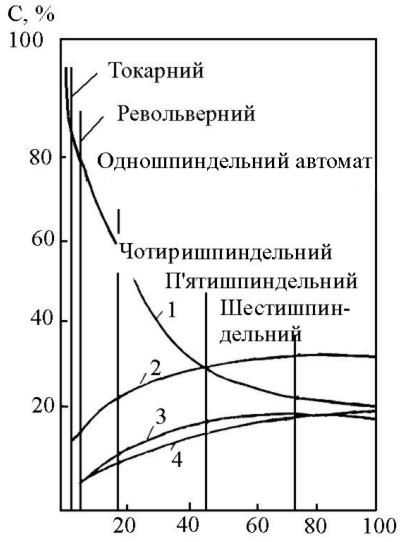


Рис. 9.5. Залежність складових витрат собівартості від виду обладнання та кількості продукції, що випускається: 1 *– витрати на заробітну плату;* 2 *– витрати на амортизацію;* 3 *– витрати на освоєння верстата;* 4 *– витрати на матеріали*

На рис. 9.6 наведені криві зміни собівартості обробки стальних ступінчастих заготовок середньої складності, що потребують застосування свердлильного і розточувального інструмента, розверток, фасонних і відрізних різців в залежності від розмірів партії оброблюваних заготовок. При розрахунку собівартості приймалося, що один робітник обслуговує один токарний або револьверний верстат або два

однакових автомати. Всі затрати на різальний інструмент, електроенергію, охолоджуючі та мастильні засоби, амортизацію верстата і пристроїв, заробітну плату основних і допоміжних робітників і матеріал відносилися до одиниці продукції.

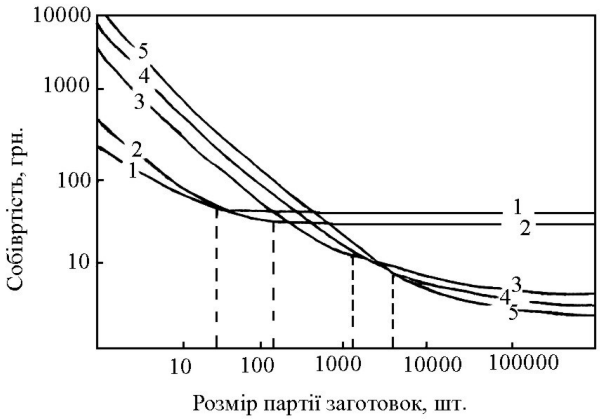


Рис. 9.6. Зміна собівартості виготовлення ступінчастих втулок на різному обладнанні: 1 – *токарний верстат;* 2 – *револьверний верстат;* 3 – *одношпиндельний токарний автомат;* 4 – *чотирьохшпиндельний токарний автомат;* 5 – *шестишпиндельний токарний автомат*

Криві зміни собівартості (рис. 9.6) мають вид гіпербол і при збільшенні кількості оброблюваних заготовок асимптотично наближаються до прямих, що характеризують найменшу собівартість обробки заготовок на даному верстаті, яка не залежить від розмірів партії заготовок. Це означає, що для кожного верстата існує певна величина партії заготовок даної складності і розмірів, починаючи з якої досягається найбільш економічна робота верстата. Перетин кривих собівартості (точки 1′, 2′, 3′, 4′) визначають межі використання верстатів різних типів. З рисунка випливає, що при обробці малих партій (зона лівіше точки 1′) найекономічнішим є застосування токарного верстата. Зі збільшенням партії заготовок найбільш економічною виявляється обробка відповідно на револьверному, одно-, чотири- шестишпиндельному токарних автоматах.

Істотний вплив видів і режимів обробки, застосовуваних верстатів і технологічного оснащення на економічність виготовлення деталей, а також залежність економічності технологічних процесів від розмірів партій оброблюваних заготовок роблять актуальною проблему оцінки економічної ефективності технологічних процесів. Правильне і своєчасне визначення економічної ефективності створення та застосування нової техніки і технології виробництва суттєво визначають напрямок і темпи технічного прогресу машинобудування.

На сучасному етапі розвитку технології машинобудування як науки вчення про економічність технологічних процесів стає її невід’ємною складовою частиною, рівнозначною таким її розділам, як вчення про точність та продуктивність.

9.2. Основи технічного нормування

Технічне нормування у широкому розумінні цього поняття представляє собою встановлення технічно обгрунтованих норм витрат виробничих ресурсів. При цьому під виробничими ресурсами розуміються енергія, сировина, матеріали, інструмент, робочий час.

В сучасних умовах механоскладального виробництва економія виробничих ресурсів (за рядом причин економічного, демографічного і соціального характеру) набуває надто важливого значення. Особливо важливою задачею, що розв'язується при проектуванні технологічних процесів, є задача технічного нормування робочого часу, тобто нормування праці.

9.2.1. Задачі та методи нормування праці

Основна задача нормування – це визначення міри праці і відповідної винагороди.

Нормування праці здійснюється методами технічного і досвідно-статистичного нормування.

Технічне нормування праці – це сукупність методів і прийомів з виявлення резервів робочого часу і встановлення необхідної міри праці.

Задачами технічного нормування є виявлення резервів робочого часу і поліпшення організації праці на підприємстві, встановлення правильної міри праці (тобто визначення норми часу) і в кінцевому результаті – підвищення продуктивності праці та збільшення обсягів виробництва.

При технічному нормуванні праці (тобто при аналітичному методі визначення норми часу) технологічна операція розкладається на елементи: машинні, машинно-ручні і ручні, на переходи, ходи, прийоми і рухи. При цьому кожен елемент піддається аналізу як окремо, так і в поєднанні з суміжними елементами.

Перед розрахунком норми часу проводиться аналіз структури операції, що нормується, з метою її покращення шляхом: виключення з її складу всіх зайвих прийомів і рухів, без яких робота може бути успішно виконана; скорочення шляху всіх рухів рук, ніг і корпусу робітника; заміни стомлюючих прийомів роботи більш легкими; забезпечення виконання ручних прийомів роботи під час автоматичної подачі; вивільнення робітника від виконання підсобних робіт по піднесенню матеріалів, інструмента, заготовок і по заточуванню інструмента; застосування багатомісцевих пристроїв; прогресивних режимів різання; використання досвіду передовиків по скороченню затрат допоміжного часу.

Норми часу, що визначені аналітичним методом, називаються технічно обгрунтованими чи просто технічними нормами.

Технічно обгрунтована норма часу – це час, необхідний для виконання одиниці роботи, встановлений розрахунком, виходячи з раціонального використання в даних умовах виробництва праці робітника (живої праці) і знарядь праці (уречевленої праці) із врахуванням передового виробничого досвіду.

Технічно обгрунтована норма часу встановлюється із врахуванням наявності раціонального технологічного процесу, правильної для даних виробничих умов організації праці та виконання роботи робітником відповідної кваліфікації, продуктивність праці якого вища середньої продуктивності праці робітників на аналогічній роботі. При цьому під правильною організацією праці розуміється:

економічно доцільне в даних умовах відокремлення основної роботи від підготовчої та допоміжної; раціональна організація робочих місць та їх систематичне обслуговування, виходячи з даних виробничих умов; раціональне виконання трудових дій робітника; нормальні санітарно-гігієнічні умови роботи (освітлення, опалювання, вентиляція) і техніка безпеки.

Призначення технічної норми часу не обмежується визначенням оплати за працю та її продуктивність. Технічні норми служать основою для визначення потрібної кількості і завантаження обладнання, виробничої потужності ділянок і цехів, розрахунку показників праці та по заробітній платі, а також є основою оперативного (календарного) планування.

З розвитком техніки, технології та організації виробництва, із зростанням енергоозброєності робітника і підвищенням його культурного рівня норми часу повинні коректуватись у бік їх зниження із врахуванням зростаючої продуктивності праці.

Дослідно-статистичний метод нормування застосовується в умовах одиничного і дрібносерійного виробництв, на відміну від технічного нормування не передбачає аналітичного розрахунку трудомісткості окремих елементів виконуваної роботи та їх підсумовування. Норма часу встановлюється на всю операцію в цілому шляхом співставлення з нормами і фактичною трудомісткістю виконання в минулому аналогічної роботи. Статистичні дані про фактичну трудомісткість аналогічних операцій у минулому і власний досвід нормувальників і майстрів є основою цього методу нормування.

Внаслідок того, що фактичні затрати часу і фактичний виробіток у минулому відображають недоліки в технології та організації праці і виробництва, що існували в той час, досвідно-статистичні норми узаконюють їх на майбутнє. Ці норми не мають під собою технічної та розрахункової бази і, як правило, є заниженими і не відповідають задачам виявлення резервів виробництва і підвищення продуктивності праці. У зв'язку з цим однією з найважливіших і невідкладних задач машинобудівного виробництва є повсюдний перехід від досвідно-статистичного нормування до технічного.

На відміну від досвідно-статистичних норм технічні норми:

1) передбачають використання передового виробничого досвіду, можливо більш повного використання існуючих засобів виробництва і робочого часу, оскільки вони встановлені виходячи з раціонально побудованих технологічних і трудових процесів; вони визначають продуктивність праці вище середнього досягнутого рівня і тому є прогресивними, тобто такими, що підтягують відсталих робітників до передових;

2) при аналітичному методі нормування і використанні нормативів норми однорідні за жорсткістю, що виключає появу невиправдано високої чи надто низької оплати праці, що в обох випадках призводить до дезорганізації виробництва;

3) введення об'єктивних і технічно обгрунтованих розрахункових норм усуває конфлікти і суперечки про правильність норм, що має місце при досвідно-статистичному нормуванні.

В умовах одиничного і дрібносерійного виробництв економічно недоцільно поділяти операції на диференційовані елементи для визначення норм часу. В цьому випадку визначення норм часу проводиться за збільшеними нормативами (на технологічні переходи) або за типовими нормами, складеними аналітичним методом для типових технологічних процесів. Методи збільшеного нормування, що базуються на нормативах і типових нормах і складені аналітичним методом, також є методами

технічного нормування.

9.2.2. Класифікація затрат робочого часу

Затрати робочого часу протягом робочого дня (за винятком обідньої перерви) поділяються на затрати, що нормуються і ті що не нормуються.

До затрат що нормуються відносять затрати які необхідні для виконання заданої роботи, і тому вони включаються до складу норми часу.

До затрат робочого часу, які не нормуються і не включаються до складу норми, відносять втрати робочого часу (втрати часу внаслідок виконання робітником випадкової та непродуктивної роботи, такої, наприклад, як ходіння за майстром, наладником, документацією, інструментом, транспортними засобами, матеріалами тощо; перерви в роботі з організаційних і технологічних причин, пов'язаних з простоями в очікуванні роботи, крана, підсобного робітника, креслення, інструмента, з простоями через відсутність електроенергії тощо; втрати з вини робітника у зв'язку із запізненням і несвоєчасним залишенням робочого місця, сторонніми розмовами тощо).

Затрати робочого часу, що нормуються, поділяються на підготовчо-заключний, оперативний час, час на обслуговування робочого місця і час на перерви на відпочинок і особисті потреби робітника.

Норма підготовчо-заключного часу $T_{п-з}$ – це норма часу на підготовку робітників і засобів виробництва до виконання технологічної операції та приведення їх у початковий стан після її закінчення.

Норма підготовчо-заключного часу включає затрати часу на підготовку до заданої роботи і виконання дій, пов'язаних з її закінченням. До складу підготовчо-заключного часу входять затрати часу на:

а) отримання матеріалів, інструментів, пристроїв, технологічної документації і наряду на роботу;

б) ознайомлення з роботою, технологічною документацією, кресленням, одержання необхідного інструктажу;

в) установлення інструментів, пристроїв, налагодження обладнання на відповідний режим роботи;

г) зняття пристроїв та інструмента;

д) здавання готової продукції, залишків матеріалів, пристроїв, інструмента, технологічної документації та наряду.

Підготовчо-заключний час витрачається один раз на партію оброблюваних заготовок, що виготовляються без перерви за даним робочим нарядом, і не залежить від кількості заготовок в цій партії. При нормуванні величина підготовчо-заключного часу визначається за нормативами із врахуванням типорозміру верстата, пристрою, конструкції та маси оброблюваної заготовки тощо.

Норма оперативного часу $T_{оп}$ – це норма часу на виконання технологічної операції, яка складається з суми норм основного часу $T_о$ і допоміжного часу$T_д$, що не перекриває основний час тобто $T_{оп} = T_о + T_д$.

Затрати оперативного часу на виконання технологічної операції повторюються з кожною одиницею виробу або через строго певне їх число.

Норма основного часу $T_о$ – це норма часу на досягнення безпосередньої мети даної технологічної операції чи переходу за якісною і (чи) кількісною зміною

предмета праці.

Основний (технологічний) час T_o представляє собою час, протягом якого змінюються розміри і форми заготовки, зовнішній вигляд і шорсткість поверхні або взаємне положення окремих частин складальної одиниці та вони закріплюються тощо. Основний час може бути машинним, машинно-ручним, ручним.

При всіх верстатних роботах основний час визначається відношенням величини шляху, пройденого обробним інструментом, до його хвилинної подачі.

Для токарних, свердлильних, різенарізних робіт, зенкерування, розвертання і фрезерування основний (машинний) час визначається у відповідності з рис. 9.7 за формулами:

$$T_o = T_м = \frac{\ell i}{S_{хв}} = \frac{\ell i}{ns} = \frac{\ell Z}{nst};$$

$$l = L + l_1 + l_2,$$

де $T_м$ – машинний час, хв;

l – довжина шляху інструмента, мм;

L – довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 – величина врізання інструмента, мм;

l_2 – величина перегібання інструмента, мм;

i – число ходів;

$S_{хв}$ – подача, мм/хв (хвилинна подача);

n – частота обертання шпинделя чи фрези, об/хв;

S – подача на один оберт шпинделя чи фрези, мм/об;

t – глибина різання на сторону, мм;

z – припуск на сторону, мм.

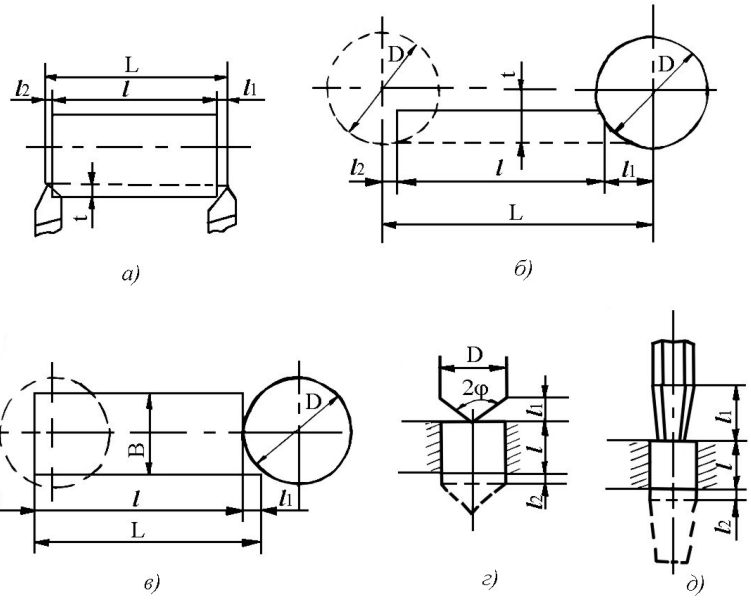


Рис. 9.7. Довжина переміщення різального інструменту: а – при точінні; б, в – при фрезеруванні; г – при свердлінні; д – при розвертанні

При розрахунку основного часу за наведеними вище формулами елементи режимів різання V, n, S, t визначаються за відповідними формулами теорії різання або за таблицями нормативів, наведених у довідниковій літературі і нормативних матеріалах з технічного нормування.

Послідовність розрахунку елементів режимів різання також встановлена цими матеріалами.

Норма допоміжного часу $T_д$ представляє собою норму часу на здійснення дій, що дають можливість виконувати основну роботу, яка є метою технологічної операції чи переходу, і які повторюються з кожним виробом чи через певне їх число (встановлення і зняття виробу, вмикання та вимикання верстата, підведення і відведення інструменту чи його перевстановлення, якщо це проводиться на кожний виріб чи через певне їх число).

Допоміжний час, як правило, ручний, але може бути і машинним.

Допоміжний час визначається підсумовуванням його складових елементів, наведених в таблицях нормативів з технічного нормування. При цьому до його складу включаються затрати часу на встановлення і зняття заготовки, час, пов'язаний з переходом, час на переміщення частин верстата (супорта, каретки), час на зміну режиму роботи верстата та інструмента і час на контрольні вимірювання.

Час на встановлення і зняття заготовки дається в нормативних таблицях на весь комплекс "встановити і зняти заготовку" в залежності від її ваги, типу пристрою, способу базування і закріплення.

Час, пов'язаний з переходом, включає час на підведення інструмента до заготовки, вмикання і вимикання подачі, відведення інструмента у вихідне положення. При цьому час на переміщення супорта в комплекс часу, пов'язаного з переходом, не включено і визначається в залежності від довжини переміщення окремого складового допоміжного часу. Також не включено в комплекс часу на перехід і час, що витрачається на зміну режиму роботи верстата та інструмента, який враховується окремою складовою допоміжного часу.

Час на контрольні вимірювання встановлюється на процес вимірювання, яке проводиться після виконання верстатником переходу чи операції, і включається в норму тільки в тих випадках, коли воно не може бути перекрите машинним часом. Періодичність контрольних вимірювань залежить від стабільності отримуваних при обробці розмірів, допуску і розмірів обробки, конструкції різального інструмента і способу виконання обробки. В нормативних таблицях наводяться відповідні рекомендації.

Час на обслуговування робочого місця $T_{обс.}$ представляє собою частину штучного часу, що витрачається виконавцем на підтримання засобів технологічного оснащення в працездатному стані і догляду за ним і робочим місцем.

В умовах масового виробництва, машинних і автоматизованих операцій час обслуговування робочого місця поділяється на час технічного і організаційного обслуговування.

Час технічного обслуговування $T_{тех.}$ – це час, що витрачається на догляд за робочим місцем (обладнанням) протягом даної конкретної роботи (зміна притуплених інструментів, регулювання інструментів і підналагодження обладнання в процесі роботи, змітання стружки тощо).

Час технічного обслуговування визначається у відсотках до основного часу.

Час організаційного обслуговування $T_{орг.}$ – це час, що витрачається на догляд за робочим місцем протягом робочої зміни (час на розкладання і прибирання

інструмента на початку і в кінці зміни, час на огляд і випробовування обладнання, час на його змащування і очищення тощо).

Час організаційного обслуговування визначається у відсотках до оперативного часу.

Час на особисті потреби $T_{відп.}$ – це частина штучного часу, що витрачається людиною на особисті потреби і (при втомливих роботах) на додатковий відпочинок.

Він передбачається для всіх видів робіт (крім безперервних) і визначається у відсотках до оперативного часу. Звичайно цей час не перевищує 2 % від тривалості робочої зміни. На роботах фізично важких, особливо втомливих, які відрізняються великим вантажообігом або проводяться прискореним темпом, крім того, передбачається додатковий час на перерви для відпочинку.

9.2.3. Структура норми часу

Норма часу – це регламентований час на виконання деякого обсягу робіт у певних виробничих умовах одним або декількома виконавцями відповідної кваліфікації.

В машинобудуванні норма часу звичайно встановлюється на технологічну операцію.

Технічно обгрунтована норма часу $T_{ш-к}$ складається з норми підготовчо-заключного часу на партію оброблюваних заготовок і норми штучного часу $T_ш$, тобто:

$$T_{ш-к} = T_ш + T_{п-з}/n, \qquad (9.1)$$

де $T_{ш-к}$ – норма штучно-калькуляційного часу (норма часу);

$T_{п-з}$ – підготовчо-заключний час на партію оброблюваних заготовок;

n – кількість заготовок в партії, що обробляється.

Норма штучного часу – це норма часу на виконання обсягу робіт, що дорівнює одиниці нормування.

Штучний час може бути визначений як інтервал часу, рівний відношенню циклу виробів, що одночасно виготовляються чи ремонтуються, або рівний календарному часу складальної операції.

Цикл технологічної операції – це інтервал календарного часу від початку до кінця періодично повторюваної технологічної операції незалежно від кількості виробів, що одночасно виготовляються чи ремонтуються.

При технічному нормуванні норма штучного часу $T_ш$ підраховується за формулою:

$$T_ш = T_о + T_д + T_{обс.} + T_{відп.} = T_{оп.} + T_{обс.} + T_{відп.}$$

В норму штучного часу не включаються затрати часу на роботи, які можуть бути виконані під час автоматичної роботи обладнання, тобто можуть бути перекриті машинним часом.

В умовах масового виробництва за норму часу приймається величина норми штучного часу, яка визначається за формулою:

$$T_ш = T_о + T_д + T_{тех.} + T_{орг.} + T_{відп.}$$

або

$$T_ш = T_о + T_д + \frac{в_{тех}}{100} T_о + \frac{а_{орг}}{100}\left(T_о + T_д\right) + \frac{а_{відп.}}{100}\left(T_о + T_д\right),$$

де $a_{орг.}$ – відсоток часу на організаційне обслуговування робочого місця;

$в_{тех.}$ – відсоток часу на технічне обслуговування робочого місця;

$a_{відп.}$ – відсоток часу на відпочинок і особисті потреби.

В одиничному і серійному виробництвах норма часу визначається за формулою (9.1). У зв'язку з тим, що у одиничному та серійному виробництвах час на обслуговування робочого місця на організаційний і технічний не поділяється і час на відпочинок і особисті потреби робітника обчислюється у відсотках часу, формула для підрахунку штучного часу спрощується і набуває вигляду:

$$T_ш = (T_о + T_д)\left(1 + \frac{K}{100}\right),$$

де К – відсоток оперативного часу на обслуговування робочого місця (технічне та організаційне) і на відпочинок і особисті потреби робітника.

Значення коефіцієнтів $a_{орг}$, $a_{відп.}$, $в_{тех}$ і К приймаються згідно нормативами.

Норма часу на партію заготовок визначається за формулою:

$$T_{пар} = T_{п\text{-}з} + T_ш n,$$

де n – число заготовок в партії, шт.

Норма затрат робочого часу на виготовлення виробів може бути також виражена кількістю продукції, що виготовляється в одиницю часу (зміну, годину). В цьому випадку вона називається *нормою виробітку* за певну одиницю робочого часу.

Норма виробітку визначається відношенням тривалості робочої зміни (чи години) до норми штучного часу, тобто:

$$Н_в = T_{зм}/T_ш n,$$

де $Н_в$ – норма виробітку виробів, шт.;

$T_{зм}$ – тривалість робочої зміни у хвилинах (годинах).

9.2.4. Особливості нормування багатоінструментної обробки

При обробці на багаторізцевих, багатошпиндельних і багатопозиційних верстатах і на автоматичних лініях особливості операції накладають на режими різання певні обмеження:

1. Всі інструменти повинні працювати з однаковою подачею в міліметрах на оберт шпинделя чи за один подвійний хід.
2. Довжина ходу для всіх інструментів повинна бути однаковою (вказане обмеження характерне для верстатів, що працюють різцями, закріпленими на одному супорті).
3. Співвідношення між величинами подач окремих інструментів задане і не може бути змінене (наприклад, при роботі багатошпиндельної свердлильної головки співвідношення між подачами для окремих шпинделів обов'язково повинне бути рівним передаточному відношенню кінематичного ланцюга, що зв'язує ці шпинделі).
4. Всі інструменти повинні працювати з однією і тією ж частотою обертання шпинделя (наприклад, робота багаторізцевих токарних верстатів, робота декількох фрез, закріплених на одній оправці).
5. Співвідношення частот обертання шпинделів і окремих інструментів задане і не може бути змінене.
6. Всі інструменти повинні працювати з однаковою хвилинною подачею.
7. Всі інструменти повинні працювати з однаковою швидкістю різання

(наприклад, при роботі на поздовжньо-стругальних верстатах).

8. Машинний час інструментів (супортів, агрегатів тощо) повинен бути однаковий (при цьому частоти обертання шпинделів і подачі в мм на оберт і в мм за хвилину можуть бути різними, наприклад, нормування автоматичної лінії та багатопозиційних верстатів послідовної дії).

9.2.5. Вплив багатоінструментної обробки на режим різання

Глибина (ширина) різання (як і при одноінструментній обробці) визначається припуском. Тут також припуск повинен бути видалений за можливістю за один хід, а при підвищених вимогах до точності і шорсткості – за два ходи: чорновий і чистовий. У випадках, коли ходи можуть виконуватись одночасно (наприклад, при обробці на багатопозиційних верстатах), може виявитись доцільною обробка неточних поверхонь за два ходи.

Подачі (як і при одноінструментній обробці) повинні бути взяті максимально можливими. Величину подачі тут обмежують:

а) міцність механізмів приводу і подачі верстата;

б) міцність інструмента;

в) міцність заготовки;

г) жорсткість технологічної системи;

д) шорсткість оброблюваної поверхні.

Потужність верстата, як правило, не обмежує подачу: при нестачі потужності у більшості випадків потрібно знижувати не подачу, а швидкість різання.

Якщо конструкція верстата вимушує прийняти для декількох інструментів однакові (обмеження 1 пункт 7.2.4) чи пропорційні (обмеження 3 пункт 7.2.4) подачі, то загальна подача вибирається так, щоб ні для одного інструмента технологічно допустима подача не була перевищена. Це звичайно призводить до зниження подач для всіх інструментів, крім одного.

При роботі багатосупортних верстатів (багаторізцевих тощо) робота всіх супортів з технологічно допустимими подачами призвела б до різної тривалості роботи супортів. Якщо немає можливості скоротити час роботи “лімітуючого супорта”, який потребує найбільшого часу для своєї роботи, то подачі останніх супортів можуть і повинні бути зниженими. Таке вирівнювання часу роботи супортів оберігає різальний інструмент, не збільшуючи машинного часу.

Подача “нелімітуючих” супортів повинна бути знижена до таких величин, при яких час роботи всіх супортів був би однаковим. Проте при цьому необхідно мати на увазі, що для деяких інструментів є не тільки максимум, але й мінімум допустимої подачі. Наприклад, при роботі твердосплавних різців на багаторізцевих верстатах не потрібно застосовувати подачі менше 0,04–0,05 мм/об.

Недостатня жорсткість та міцність верстата часто вимушує знижувати подачі. У зв’язку з цим перевірка прийнятих подач за силовими паспортними даними верстата є обов’язковою.

Швидкості різання можуть прийматись однаковими з одноінструментною обробкою у випадках:

а) обробки чистовим інструментом, коли зміна швидкості призводить до недопустимого збільшення шорсткості поверхні;

б) обробки металів, що мають різко виражений оптимум швидкості, відхилення

від якого призводить до різкого падіння стійкості (деякі сталі аустенітного класу).

Швидкості різання знижуються:

а) при заданому співвідношенні між швидкостями (обмеження 4, 5, 7 п. 9.2.4);

б) у випадку, коли інструменти повинні працювати з однаковою хвилиною подачею (обмеження 6 п. 9.2.4) або з однаковим часом (обмеження 8 п. 9.2.4) для забезпечення роботи всіх інструментів з технологічно допустимими подачами в мм/об або в мм/зуб;

в) при недостатній потужності верстата (при цьому, коли швидкість знижується нижче 40–50 м/хв, іноді доводиться відмовлятись від застосування різців Т5К10, Т15К6 і Т14КВ, які погано працюють при низьких швидкостях);

г) у зв'язку з необхідністю підвищити стійкість інструментів при багатоінструментній обробці.

Швидкість різання може підвищуватись, якщо всі інструменти повинні працювати з однаковою довжиною ходу (обмеження 2 п. 9.2.4). В цьому випадку для деяких інструментів час різання складає лише частину машинного часу. Це дозволяє підвищити розрахункові швидкості різання для цих інструментів без збільшення розрахункового періоду стійкості.

Для операцій, ритм яких не зв'язаний з ритмом інших операцій, потрібно прагнути до роботи зі швидкостями і при стійкості інструмента, що забезпечують найменшу собівартість операції.

У випадках, коли продукція ділянки, цеху чи потокової лінії повинна випускатись комплектно, тобто ритм декількох операцій повинен бути однаковим, для одержання найменшої собівартості продукції необхідно трохи підвищувати (у порівнянні з економічними) швидкості різання для операцій, які є "вузьким" місцем, і знижувати їх для решти операцій. Підвищувати швидкості різання вище швидкостей найбільшого випуску не потрібно.

9.3. Технологічні методи підвищення продуктивності та зниження собівартості виробів

9.3.1. Збільшення кількості виробів, що виготовляються в одиницю часу

Найсуттєвіше впливає на зниження собівартості машини кількість машин даної моделі, що належить виготовленню. Чим краще в конструкції машини відображено сучасні досягнення, тенденції та перспективи розвитку науки і техніки, тим вищі її техніко-економічні показники, тим за інших рівних умов менше буде її моральне зношування, тим довше у часі, а отже, і в кількості, така машина буде виготовлятись без змін.

Зі збільшенням кількості машин, що випускаються, змінюється собівартість машини внаслідок зменшення частки затрат живої праці і збільшення частки затрат уречевленої праці при одночасному зниженні їх суми. Пояснюється це тим, що зі збільшенням кількості машин, що належать виготовленню, зростає можливість використання більш дорогокоштуваного, але й більш продуктивного обладнання, інструмента та іншого технологічного оснащення, що сприяє скороченню трудомісткості виготовлення машини.

З викладеного виходить, що одним з основних заходів, що сприяють зниженню собівартості машини при відомій в них потребі, є будь-яке збільшення кількості машин, їх складальних одиниць і деталей, що належать виготовленню за незмінними кресленнями. Заходами для цього служать:

- розробка конструкції машини з максимальним врахуванням досягнень і перспектив розвитку науки і техніки і внаслідок цього створення машини з найменшим моральним зношуванням;
- широка уніфікація машин на основі конструктивної спадковості, тобто використання в різних машинах одних і тих же складальних одиниць і деталей;
- нормалізація та обмеження номенклатури застосовуваних в конструкції машини отворів, різей, діаметрів валів, шліців тощо.

9.3.2. Скорочення витрат на матеріал

Основними шляхами скорочення витрат на матеріали, що витрачається на виготовлення машини, є: скорочення маси матеріалів, що витрачаються на виготовлення однієї машини; використання, за можливістю, більш дешевих матеріалів; одержання відходів матеріалів в найбільш цінному вигляді з метою подальшого використання їх для виготовлення інших деталей.

Скорочення маси матеріалів, що витрачаються на виготовлення однієї машини, залежать в першу чергу від того, наскільки раціонально розроблена конструкція машини. Недостатнє знання властивостей матеріалу, недостатньо стабільна якість матеріалів і наближені методи розрахунку призводять у кінцевому рахунку до значних величин запасу міцності, тобто до зайвих витрат матеріалів.

Скорочення різного роду відходів і втрат матеріалів є одним з основних технологічних і організаційних заходів, що сприяють скороченню витрат на матеріали. Значна кількість відходів і втрат має місце на машинобудівних підприємствах при одержанні заготовок деталей. До такого роду відходів і втрат відноситься угар матеріалів при плавленні, виплески, скрап, залишки у плавильних агрегатах, окалина при нагріванні, відходи у вигляді заусениць, обрізки, облой, брак заготовок тощо.

При механічній обробці частина матеріалу перетворюється в стружку, обрізки при розкроюванні деталей з листового матеріалу, обрізки, що виникають через некратність довжини деталі довжині куска вихідного матеріалу при пруткових заготовках у вигляді кусків, необхідних для закріплення деталей при обробці на виготовлення пробних деталей при настроюванні технологічної системи.

Скорочення втрат і відходів економить не тільки матеріали, дозволяючи збільшити випуск виробів, але й непродуктивні витрати обох видів праці як на даній, так і на всіх попередніх стадіях виробництва.

Для висновку про раціональність використання матеріалів звичайно служить коефіцієнт використання матеріалу $К_{вм}$, який представляє собою відношення маси матеріалу готового виробу $G_д$ до маси матеріалу $G_р$, витраченого на його виготовлення:

$$К_{вм} = G_д/G_р.$$

Втрати матеріалів скорочуються зі зменшенням числа стадій, які проходять продукти природи до його перетворення в готовий придатний виріб. В

машинобудуванні ця тенденція зводиться до безпосереднього одержання придатного виробу з напівфабрикату чи до скорочення до мінімуму кількості операцій, які повинен пройти напівфабрикат до його перетворення в готовий виріб.

Ретельне виявлення службового призначення кожної деталі в машині і чітке формулювання всіх умов, в яких повинна працювати та чи інша деталь, дають можливість використовувати для її виготовлення більш дешеві матеріали без зниження якості машини. Прикладом може бути заміна сталевих шпинделів, в ряді верстатів, литими чавунними, заміна ряду сталевих деталей (наприклад, важелів, вилок тощо) деталями з кувального чи модифікованого чавуну тощо.

В багатьох випадках економія металу отримується при переведенні ряду деталей на виготовлення з різного роду замінників-деревопластики, пластмаси тощо.

Відходи, що отримуються при обробці деталей з різних матеріалів, можуть мати різну вартість, яка залежить від тієї чи іншої можливості їх подальшого використання. Дійсно, якщо при обробці відходи, наприклад, металу, перетворюються в стружку, обрізки, заусениці і тому подібне, то вартість відходів стає значно нижчою у порівнянні з початковою вартістю матеріалу. Якщо відходи можуть бути використані для одержання повноцінних заготовок для виготовлення інших деталей, вартість їх звичайно не відрізняється від початкової вартості матеріалу чи близька до неї.

9.3.3. Скорочення витрат на заробітну плату

Скорочення витрат на заробітну плату, що припадає на одиницю продукції, може бути здійснене шляхом:

1) скорочення часу, що витрачається на виконання операції;

2) збільшення кількості одиниць обладнання, що обслуговується робітником чи наладником;

3) зниження кваліфікації роботи шляхом її спрощення;

4) зменшення кількості операцій, необхідних, за всіх інших рівних умов, для виготовлення виробу.

Зменшення факторів 1, 2 і 4 здійснюється шляхом скорочення часу, що витрачається на виконання операцій, тобто їх трудомісткості чи, іншими словами, за рахунок збільшення продуктивності праці робітника і наладника.

Підвищення продуктивності праці може бути досягнуто різними шляхами:

1) скороченням чи виключенням підготовчо-заключного часу;

2) скороченням штучного часу за рахунок зменшення основного і допоміжного часу;

3) зменшення кількості операцій та переходів;

4) суміщення операцій та переходів;

5) суміщення обробки різних деталей.

Потужним засобом підвищення продуктивності праці та скорочення питомої ваги заробітної плати у собівартості продукції є автоматизація виробництва, типізація технологічних процесів, підвищення рівня технологічності конструкцій виробів, багатоверстатне обслуговування, суміщення професій, покращення умов праці, техніки безпеки, промсанітарії.

9.3.4. Скорочення накладних витрат

Зниження собівартості залежить не тільки від розглянутих вище факторів, але й від скорочення накладних витрат, основними шляхами скорочення яких є:

- зменшення витрат на амортизацію та утримання обладнання, технологічного оснащення та інструмента;
- зменшення інших статей накладних витрат (спрощення управлінського апарату підприємства, скорочення циклу виробництва для прискорення оборотності обігових коштів, скорочення браку, втрат).

Зменшення витрат на амортизацію здійснюється шляхом вибору найбільш дешевих видів обладнання, технічного оснащення, інструмента, раціонального планування обладнання, цехів та інших служб підприємства з метою скорочення витрат на будівництво нових споруд. Цій же меті служить підвищення продуктивності праці за рахунок скорочення часу виконання технологічних процесів.

Зменшення витрат на утримання здійснюється підвищенням коефіцієнта корисної дії обладнання та технологічного оснащення, підбором до обладнання електродвигунів потрібної потужності для скорочення витрат на електроенергію, підвищення якості обслуговування обладнання та технологічного оснащення шляхом їх періодичного змащування, очищення, регулювання, профілактичного ремонту.

Примусова зміна різального інструмента, його централізоване заточування та переточування, робота на потрібних режимах з використанням мастильно-охолоджуючої рідини, відновлення та використання зношеного інструменту, дбайливе його зберігання є заходами зменшення витрат на утримання різального інструмента. Правильний вибір методів і засобів контролю скорочує витрати на амортизацію. Дотримання умов правильної експлуатації зменшує витрати на утримання вимірювального інструменту.

Вище вказані тільки основні заходи, що дозволяють знизити накладні витрати, оскільки ці питання більш детально розглядаються в курсах організації та економіки виробництва.

9.4. Визначення економічної ефективності технологічного процесу

9.4.1. Бухгалтерський метод

Широко застосовується метод визначення собівартості обробки партії заготовок за формулою:

$$C = An + B, \qquad (9.2)$$

де C – собівартість партії заготовок;

n – кількість оброблених заготовок в партії, шт.;

A – поточні затрати, тобто затрати, які повторюються при виготовленні кожної окремої заготовки;

B – одноразові затрати, тобто затрати, які виникають один раз на всю кількість заготовок або періодично на певну їх партію.

Собівартість обробки однієї заготовки у цьому випадку визначається за формулою:

$$C_{заг} = A + B/n. \qquad (9.3)$$

За формулою (9.3) і згідно з кривими, наведеними на рис. 9.8, зі збільшенням кількості заготовок собівартість їх обробки знижується за гіперболічною залежністю (навіть при збереженні незмінним технологічного процесу і пов'язаним з ним одноразових і поточних затрат). Проте, це зниження собівартості відбувається тільки у певних межах збільшення кількості оброблюваних заготовок. В міру збільшення партії заготовок до деякого значення n_1 ця кількість вже не може бути виготовленою при даному варіанті технологічного процесу і в заданий термін, тому буде потрібним введення додаткової одиниці обладнання з відповідним збільшенням одноразових витрат В. Це придає графікам залежності собівартості від кількості заготовок, що виготовляється, ступінчастий характер (рис. 9.9).

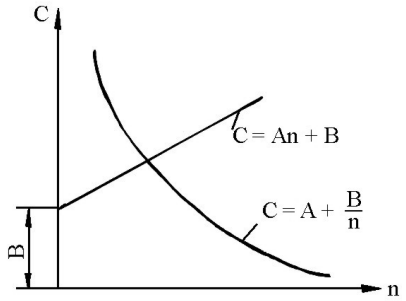


Рис. 9.8. Зміна собівартості C *зі збільшенням кількості оброблюваних заготовок*

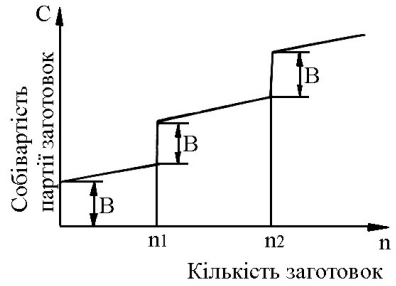


Рис. 9.9. Зміна собівартості С з введенням додаткового обладнання

При різних варіантах технологічних процесів з різною продуктивністю обробки кількість заготовок, що потребують збільшення числа одиниць обладнання, неоднакова, що є додатковим аргументом необхідності розрахунків економічної ефективності технологічних процесів, що проектуються. При співставленні економічності технологічних варіантів вказаними методами як найкращий приймається той варіант, який дає при даній кількості заготовок найменшу собівартість. Так, наприклад, при обробці партії заготовок від n = 0 до $n = n_1$ (рис. 9.10) найвигіднішим є перший варіант із собівартістю C_1, при обробці партії від n_1 до n_2 – другий варіант і при розмірах партії більше n_3 заготовок – третій (на рисунку зона найменших затрат заштрихована).

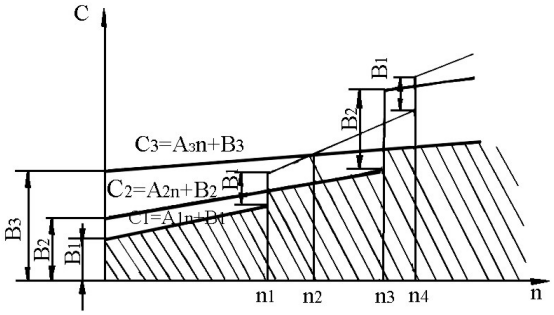


Рис. 9.10. Співставлення собівартості трьох варіантів технологічних процесів

До складу одноразових затрат В, що входять в формулу (9.2) і (9.3), включаються затрати на придбання спеціальних верстатів, пристроїв та інструментів, а також на налагодження верстатів.

Поточні затрати А включають:

- вартість вихідної заготовки $C_{заг}$;
- затрати на заробітну плату основних робітників $C_з$ і всі цехові витрати, пов'язані з амортизацією та ремонтом обладнання, утримання споруд;
- затрати на силову електроенергію;
- затрати на нормальний різальний, вимірювальний та допоміжний інструмент і універсальні пристрої;
- затрати на заробітну плату інженерно-технічних робітників, керівного та обслуговуючого персоналу, а також на заробітну плату допоміжних робітників цеху (інструментальна група, ремонтні робітники і т.п.).

Цехові витрати прийнято при калькулюванні собівартості визначати у відсотках від заробітної плати основних робітників цеху.

Таким чином, поточні затрати можна знайти за формулою:

$$A = C_{заг} + C_з(1 + P/100), \qquad (9.4)$$

де $C_{заг}$ – вартість вихідної заготовки, включаючи вартість матеріалу та її виготовлення і віднімаючи вартість відходів (стружки), що реалізуються;

P – сума всіх цехових витрат, виражена у відсотках від заробітної плати основних робітників (відсоток накладних витрат).

Відсоток накладних витрат визначається при бухгалтерській калькуляції собівартості продукції цеху за звітними даними роботи цеху і коливається в залежності від умов виробництва (серійність, оснащеність цеху, його розміри, ступінь автоматизації, організаційна структура тощо) від 150 до 800 %.

Викладений метод розрахунку собівартості обробки простий і наочний, проте прийнятий за його основу спосіб визначення цехових витрат у відсотках від заробітної плати основних робітників (відсоток накладних витрат) не дає можливості врахувати різницю у витратах по експлуатації та амортизації обладнання і універсального оснащення, різної за складністю та розмірами. При розрахунку за цим методом більш продуктивні технологічні процеси виявляються більш економічними навіть у випадках застосування дуже складного і дорогого універсального обладнання та технологічного оснащення.

Для співставлення економічності технологічних варіантів бухгалтерський метод не придатний. Він може бути використаний тільки в окремих випадках, тобто при

приблизному визначенні собівартості порівняно однорідної продукції цеху, що виготовляється на обладнанні та оснащенні, однакових за ступенем складності та розмірами.

9.4.2. Елементний метод

Найбільш точним методом розрахунку собівартості варіантів технологічних процесів при їх співставленні є елементний метод чи метод прямого розрахунку всіх складових собівартості. В окремих випадках при розрахунку можна не враховувати затрат, які у всіх співставлюваних варіантах залишаються постійними, і визначати собівартість тільки за затратами, що залежать від співставлюваних технологічних процесів. Така неповна собівартість, що включає затрати, обумовлені варіантом технологічного процесу, називається *технологічною собівартістю* $С_Т$.

У загальному випадку повна технологічна собівартість відповідає цеховій і складається з таких елементів:

$$С_т = С_з + С_{з.н.} + С_е + С_{дм} + С_{різ} + С_в + С_а + С_р + С_п + С_{пл} + С_{цв} + С_{в.заг.}, \quad (9.5)$$

де $С_з$ – заробітна плата робітників з нарахуваннями;

$С_{з.н.}$ – заробітна плата наладників з нарахуваннями;

$С_е$ – затрати на силову електроенергію;

$С_{дм}$ – затрати на допоміжні матеріали (для обтирання, змащування);

$С_{різ}$ – універсального і спеціального різального інструмента;

$С_в$ – затрати на амортизацію, заточування та ремонт вимірювального інструмента;

$С_а$ – затрати на амортизацію обладнання;

$С_р$ – затрати на ремонт і модернізацію обладнання;

$С_п$ – затрати на ремонт і автоматизацію універсальних і спеціальних пристроїв;

$С_{пл}$ – затрати на амортизацію, ремонт, опалення, освітлення та прибирання приміщення;

$С_{цв}$ – затрати на загальні цехові витрати (заробітна плата допоміжних робітників, інженерно-технічного персоналу і службовців цеху з відповідними нарахуваннями; витрати по ремонту і амортизації загального допоміжного обладнання та інвентарю цеху; витрати по охороні праці тощо);

$С_{в.заг}$ – вартість вихідної заготовки, включаючи вартість її виготовлення і матеріалу, вартість відходів, що реалізуються, (стружку).

При співставленні варіантів технологічного процесу, введення яких пов’язане зі зміною організаційної структури дільниці чи цеху або зі зміною складу обслуговуючого персоналу та інженерно-технічного, /наприклад, при створенні автоматичних ліній, впровадження верстатів з ЧПК тощо/, що призводить до відповідної зміни цехових витрат, розрахунок величини $С_{цв}$ є необхідним. В більш простих випадках співставлення варіантів, які близькі за характером і не потребують подібних змін в цеху, ця складова технологічної собівартості може не враховуватись.

При співставленні варіантів виготовлення заготовки із однакових вихідних заготовок у формулі (9.5) пропускається складова $С_{вих.заг}$. При співставленні

варіантів виготовлення з різних вихідних заготовок складова $С_{в.заг.}$ має велике значення і повинна розраховуватись за відповідними формулами. Її величина при заданій виробничій програмі залежить від маси і вартості матеріалу, потрібної точності та методу одержання вихідних заготовок.

Елементний метод розрахунку собівартості є основним методом співставлення економічності технологічних процесів у всіх відповідальних випадках, особливо в умовах масового і великосерійного виробництв. У менш відповідальних випадках, а також при розрахунках собівартості для серійного і дрібносерійного виробництв цей метод застосовується із врахуванням збільшених нормативів затрат.

Розрахунок технологічної собівартості в цьому випадку виконується також за формулою (9.5), проте окремі складові собівартості знаходять не прямим розрахунком за точними формулами, а за відповідними нормативними таблицями затрат, віднесеними до години або хвилини роботи верстата. Як приклад табл. 9.1. Подібні нормативи по всіх елементах технологічної собівартості складені (за винятком вартості вихідної заготовки, яка повинна обчислюватись за відповідними формулами відносно її конкретної конфігурації, розмірів і матеріалу) для всіх основних типорозмірів металорізального, ливарного, кувально-пресового, термічного і підйомнотраспортного обладнання, застосовуваного в умовах одиничного та дрібносерійного чи великосерійного і масового виробництв. Нормативи підраховані із врахуванням деяких середніх умов виконання операцій, найбільш характерних для даного типорозміру верстата.

У зв'язку з тим, що затрати на силову енергію та різальний інструмент обчислюються пропорційно основному часу, а вся решта елементів, що входять у формулу (9.5), визначаються пропорційно загальній тривалості операції, тобто $Т_{ш-к}$, при складанні нормативів враховується середня частка основного часу у загальній нормі часу, характерній для даного типорозміру верстата при певній серійності виробництва. Це дає можливість без великої похибки знаходити технологічну собівартість операції як добуток собівартості верстато-години $С_{в-гд}$, взятої за нормативами, на загальну трудомісткість операції $Т_{ш-к}$.

Розрахунок технологічної собівартості за вартістю верстато-години (або верстато-хвилини) зводиться до визначення за нормативними таблицями по кожному з елементів собівартості, що припадає на одну годину (хвилину) роботи верстата, підсумовування цих затрат у відповідності до прийнятої для даного розрахунку структурою технологічної собівартості і помноженню одержаної суми на трудомісткість виконання даної операції, тобто:

$$С_т = С_{в-год} \cdot Т_{ш-к},$$

де $С_{в-гд}$ – вартість 1 верстато-години (хвилини), визначеної за нормативами як сума вартостей окремих елементів;

$Т_{ш-к}$ – штучно-калькуляційний (для масового виробництва штучний) час порівняної операції в годинах чи хвилинах (відповідно $С_{в-год}$ чи $С_{в-хв.}$).

Спосіб визначення технологічної собівартості за нормативами, як і другий метод, базується на середніх даних, може іноді дати похибку розрахунку, яка досягає 15–20 % у порівнянні з результатами елементарного розрахунку за точними формулами. Проте для більшості випадків точність такого розрахунку є достатньою, тому він може бути рекомендований для широкого практичного застосування.

Таблиця 9.1

Приблизні нормативи затрат у копійках, віднесені до 1 години роботи верстата при серійному виробництві

Тип верстата та його характеристика	$C_з$	$C_{з.н.}$	$C_г$	C	$C_{різ}$	$C_в$	$C_а$	$C_р$	$C_п$	$C_{пл}$	$C_{цв}$	$C_{верст.-год.}$
Токарно-гвинторізний 1К62 (найбільший діаметр – 400 мм)	92,7	–	7,1	1,2	11,2	5,0	3,9	9,3	4,1	5,2	19,8	159,5
Токарний в ЧПК 16К20Ф3 (найбільший діаметр – 400 мм)	35,3	14,5	3,8	1,7	26,5	–	19,3	21,2	5,8	5,0	10,5	143,6
Алмазно-розточувальний двошпиндельний 2706	119,5	–	1,0	1,2	18,5	3,7	13,0	8,5	0,3	2,4	29,9	200,0
Горизонтально-протягувальний 7505	93,8	–	5,3	2,3	28,9	3,0	5,1	7,6	1,2	3,4	20,1	170,7
Круглошліфувальний 312М (найбільший діаметр – 200 мм)	103,0	–	2,6	1,3	8,8	3,9	6,5	5,1	5,4	3,1	23,1	167,8

9.4.3. Оцінка економічної ефективності варіанта за приведеними затратами

Оцінка економічної ефективності варіантів за технологічною собівартістю та продуктивністю обробки у більшості випадків буває достатньо об'єктивною, особливо, коли затрати на технологічне оснащення і спеціальне обладнання цих варіантів розрізняються несуттєво.

Коли один із співставлюваних варіантів передбачає придбання дорогокоштуваного спеціального обладнання або спеціального оснащення, порівняння економічності варіантів тільки за технологічною собівартістю та трудомісткістю обробки може виявитись недостатньою. Високопродуктивне оснащення і спеціальне обладнання у більшості випадків забезпечують менші затрати на обробку заготовки, тому порівняння за собівартістю та трудомісткістю може виявитись на користь варіанта з більшими капітальними вкладеннями. Тоді доцільність додаткових затрат на оснащення технологічного процесу можна визначити за допомогою коефіцієнта економічної ефективності капітальних вкладень:

$$E = (C_1 - C_2)/(K_2 - K_1),$$

де C_1, C_2 – собівартість річного випуску заготовок за першим і другим варіантами, грн./рік;

K_1 і K_2 – капітальні витрати, пов'язані зі здійсненням першого і другого варіантів технологічного процесу, грн.

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень E виражає річну економію на собівартості заготовок, пов'язану із застосуванням нового обладнання і оснащення, на 1 грн. капітальних вкладень.

Для визначення економічної доцільності введення нової техніки в різних галузях промисловості встановлений *нормативний коефіцієнт економічної ефективності* $E_н$, який визначає мінімальну величину річної економії на собівартості продукції на 1 грн. додаткових капітальних затрат, достатню для раціонального використання капітальних коштів в умовах даної галузі виробництва в даний час. Для машинобудівної промисловості $E_н = 0{,}2$ грн. в рік на 1 грн. капітальних вкладень.

Економічна доцільність додаткових капітальних вкладень може бути визначена шляхом порівняння розрахункового E і нормативного $E_н$ коефіцієнтів економічної ефективності згідно з нерівністю:

$$E = (C_1 - C_2)/(K_2 - K_1) \geq E_н. \qquad (9.6)$$

При порівнянні економічності різних варіантів знову спроектованих технологічних процесів, що потребують значних капітальних вкладень, доцільно підрахувати так звані *приведені затрати:*

$$З_{пр} = C_{заг}q + E_нK,$$

де $З_{пр}$ – приведені затрати на отримання річного випуску заготовок, грн;

$C_{заг}$ – собівартість виготовлення однієї заготовки, грн./шт;

q – річний випуск заготовок, шт.;

K – капітальні вкладення на здійснення даного варіанта технологічного процесу, грн.

З формули (9.6) випливає, що приведені затрати складаються з собівартості річного випуску ($C_{заг}q = C$) нормативної річної економії, яка повинна бути одержана в даній галузі промисловості при раціональному використанні капітальних вкладень ($E_нK$).

Таким чином, приведені затрати дозволять встановити економічну доцільність обертання капітальних коштів від інших об'єктів даної галузі промисловості та використання їх для здійснення технологічного процесу, що проектується.

Приведені затрати $З_{пр}$ визначаються для кожного і-го варіанта, що порівнюється. Кращим визначається варіант з мінімальними приведеними затратами $З_{пр.і}$.

Річний економічний ефект від впровадження вказаного кращого варіанта у порівнянні з будь-яким іншим визначається різницею приведених затрат цих варіантів:

$$Е_{річ} = З_{пр.і.} - З_{пр.min};$$

$$П = \frac{С_1 - С_2}{Ен} \text{ – строк окупності в роках.}$$

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Як трудомісткість та собівартість обробки заготовки залежить від точності розмірів деталі та шорсткості її поверхонь?
2. Як впливає точність обробки деталі на сумарні витрати часу та її окремі складові (встановлення різця на розмір, вимірювання тощо)?
3. Як змінюється трудомісткість обробки заготовки при застосуванні різних методів обробки?
4. Як залежить трудомісткість собівартості обробки заготовки від швидкості різання?
5. Як залежать складові витрат собівартості від виду застосованого для обробки заготовок обладнання?
6. Як змінюється собівартість виготовлення деталей при різних розмірах партії деталей?
7. Що розуміють під технічним нормуванням праці?
8. Дайте визначення "технічно обгрунтовані норми часу".
9. Які задачі вирішуються при нормуванні технологічних процесів?
10. Охарактеризуйте досвідно-статистичний метод нормування, його переваги та недоліки.
11. Охарактеризуйте технічні норми, їх переваги та недоліки.
12. Складіть класифікацію затрат робочого часу.
13. Охарактеризуйте підготовчо-заключний час.
14. Охарактеризуйте основний час. Як він визначається?
15. Охарактеризуйте допоміжний час. Як він визначається?
16. Охарактеризуйте час на обслуговування робочого місця. Як він визначається?
17. Складіть формулу штучного часу.
18. Складіть формулу штучно-калькуляційного часу.
19. Охарактеризуйте особливості нормування багатоінструментної обробки.
20. Які особливості призначення режимів різання при багатоінструментній обробці?
21. Перерахуйте основні технологічні методи підвищення продуктивності та зниження собівартості виробів.
22. Як впливає кількість виробів на продуктивність та собівартість обробки?
23. Охарактеризуйте основні шляхи скорочення витрат матеріалів.
24. Охарактеризуйте основні шляхи скорочення витрат на заробітну плату.

25. Охарактеризуйте основні шляхи скорочення накладних витрат.
26. Які існують методи визначення ефективності технологічного процесу? Переваги, та недоліки.
27. Охарактеризуйте бухгалтерський метод визначення ефективності технологічного процесу.
28. Охарактеризуйте елементний метод визначення ефективності технологічного процесу.
29. Розкрийте суть розрахунку технологічної собівартості за вартістю верстато-години роботи верстата.
30. Охарактеризуйте метод оцінки економічної ефективності варіанта технологічного процесу за приведеними затратами.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М., 1969. – 559 с.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М. 1985. – 496 с.
3. Руденко П.А. Теоретические основы технологии машиностроения: Конспект лекций. – Чернигов, 1986. – 258 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя /Под. ред. А.Г. Косиловой, Р.К Мищерякова. – М., 1986, Т 2, 496 с.
5. Экономическая эффективность новой техники и технологии в машиностроении / К.М. Великанов, Э.Г. Васильева и др.; Под общ. ред. К.М. Великанова. – Л: Машиностроение, 1981.

Тема 10. Оптимізаційні задачі забезпечення продуктивності, точності та якості поверхонь при механічній обробці деталей

Умовні позначення:

(C) 1) C_1 – непродуктивні витрати (по собівартості);
(x) 2) $C_{в\text{-}хв}$ – вартість однієї хвилини роботи обладнання;
(T_L) 3) $T_{пр}$ – сумарний час простою обладнання, що припадає на одну деталь;
(C_2) 4) C_2 – вартість машинного часу обробки;
(T_c) 5) $T_м$– машинний час обробки;
(C_3) 6) C_3 – вартість часу на зміну інструмента;
(T_d) 7) $T_{зм.і}$ – час зміни інструмента;
(T_{ac}) 8) $T_{д.ч}$ – дійсний час обробки однієї деталі;
(T) 9) $T_{СТ}$ – стійкість інструмента;
(C_4) 10) C_4– вартість інструмента, віднесена до однієї деталі;
(y) 11) $C_{р.л}$ – вартість інструмента, що припадає на одне різальне лезо;
(T_T) 12) $T_{шт}$ – штучний час;
($P_г$) 13) $P_г$ – прибуток, одержаний в одиницю часу;
(I) 16) I – доход, що припадає на одну деталь, включаючи вартість матеріалу;
(I_T) 14) I_T – доход, що припадає на одну деталь, включаючи вартість матеріалу;
(C) 17) C – собівартість однієї деталі, включаючи вартість матеріалу;
(C_T) 15) C_T – собівартість однієї деталі, включаючи вартість матеріалу;
(V) 18) V – швидкість різання;
(f) 19) S – подача;
(d) 20) t – глибина різання;
(K) 21) K – постійна величина;
(1/n) 22) $\frac{1}{m}$ – показник степеня при швидкості;
($1/n_1$) 23) $\frac{1}{m_1}$ – показник степеня при подачі;
($1/n_2$) 24) $\frac{1}{m_2}$ – показник степеня при глибині;
$\left(A = Kd^{-1/n_2}\right)$ 25) $A = Kt^{-1/m_2}$;
$B = K\left(f^{1/n_1} d^{n/n_2}\right)^n$ 26) $B = \left(\frac{K}{S^{1/m_1} t^{1/m_2}}\right)^m$;
(l) 27) l – довжина проходу інструмента;
(N) 28) n – число обертів шпинделя за хв.;
(λ) 29) λ
$\left(T_{\upsilon m}\right)$ 30) $T_{СТ.\upsilon m}$ – стійкість інструмента, що відповідає мінімальній собівартості деталі;

(P) 31) N – потужність різання;

(W, α, β) 32) W, α, β – постійні для даної комбінації інструмент – оброблювальний матеріал (при визначенні потужності різання);

(F) 33) P – сила різання;

(E) 34) E – експериментальний коефіцієнт (при визначенні сили P);

(R) 35) R – радіус при вершині різця;

(f_{ud}) 36) S_{it} – максимальна подача, яка забезпечує потрібну шорсткість поверхні;

$(T_{\upsilon p})$ 37) $T_{CT.\upsilon p}$ – стійкість інструмента, що відповідає максимальній продуктивності обробки і змінній швидкості різання;

(V) 38) V – швидкість головного руху при струганні;

(υ_r) 39) V_r – швидкість зворотного руху при струганні;

(m) 40) $V/V_r = d < 1$;

(S) 41) L – довжина при струганні;

(l) 42) B – ширина при струганні;

(s) 43) L_{min} – мінімальна довжина стругання;

(l) 44) B_{min} – мінімальна ширина стругання;

($t_{ек}$) 45) $К_{екв}$ – еквівалентна товщина зрізу при фрезеруванні;

(t_m) 46) $К_{max}$ – максимальна товщина зрізу при фрезеруванні;

(T_{cs}) 47) $T_{мz}$ – час контакту фрези при зрізанні одного елемента стружки;

(n_l) 48) m_l – показник степеня в стійкісному рівнянні при фрезеруванні;

(Θ) 49) Θ – кут контакту при фрезеруванні;

(t) 50) K – товщина зрізу, що відповідає глибині різання t' при фрезеруванні;

(V) 51) $S_{хв}$ – хвилинна подача;

(K_T) 52) Z – число зубів фрези;

(D) 53) D – діаметр фрези;

(d') 54) t' – миттєве значення глибини різання;

(f_t) 55) S_z – подача на один зуб;

(f_r) 56) S_r – подача на один оберт;

(T'_L) 57) $T'_{пр}$ – час переміщення і встановлення інструменту для виконання другого переходу;

(T_{cr}) 58) T_{cr} – час першого проходу (попередня обробка);

(T_{cf}) 59) T_{cf} – час другого проходу (остаточна обробка);

($T_{(ac)r}$) 60) – $T_{(д.ч)r}$ – дійсний час різання при першому проході;

($T_{(ac)f}$) 61) $T_{(д.ч)f}$ – дійсний час різання при другому проході;

(T_r) 62) T_r – стійкість інструмента при першому проході;

(T_f) 63) T_f – стійкість інструмента при другому проході;

$(T_{(\upsilon m)r})$ 64) $T_{(CT_{\upsilon m})}r$ – стійкість інструмента на першому проході, що відповідає мінімуму собівартості;

$(T_{(\upsilon m)f})$ 65) $T_{(CT_{\upsilon m})}f$ – стійкість інструмента на другому проході, що відповідає мінімуму собівартості;

(f_r) 66) S_r – подача на першому проході;

(f_f) 67) S_f – подача на другому проході;

(b_r) 68) T_r – глибина різання на першому проході;

(b_f) 69) t_f – глибина різання на другому проході;

(b) 70) t – повна глибина різання;

(T_L) 71) $T_{пр}$– час встановлення деталі на верстаті;

(T_i) 72) T_i – час обробки до заміни одного різця наступним;

(T_c) 73) $T_м$ – сумарний дійсний час різання, що припадає на одну деталь;

(T) 74) $T_{СТ}$ – сумарний дійсний час різання між замінами інструмента (стійкість інструмента);

(T_d) 75) $T_{зм.і}$ – час зміни всіх інструментів;

(У) 76) У – вартість заточування всіх різальних лез;

(T_a) 77) T_a – час циклу (виключаючи встановлення деталі).

Тема 10. Оптимізаційні задачі забезпечення продуктивності, точності та якості поверхонь при механічній обробці деталей*

Будь-який технологічний процес повинен бути економічни. При проектуванні технологічного процесу можуть бути встановлені такі режими різання, які дозволяють отримати дуже високу продуктивність праці. При цьому, однак, стійкість інструмента буде низькою, що викличе великі витрати інструмента. Для забезпечення високої ефективності виробництва необхідно технологічні фактори процесу різання розглянути з економічної точки зору.

10.1. Параметри, критерії та обмеження при виборі економічних умов

На економіку механічної обробки впливають різні фактори, в тому числі властивості матеріалу інструмента, потужність верстата і режими різання.

Для визначення оптимальних режимів різання необхідно врахувати вартість використовуваних матеріалів і багато інших даних.

До того ж, металообробне виробництво зазвичай включає не тільки одноінструментну обробку, але й обробку деталей одночасно декількома інструментами. А це означає, що при виборі економічних режимів обробки на будь-якій операції необхідно приймати до уваги режими обробки й на інших операціях, які виконуються при виготовленні деталі. Встановлення оптимальних умов виробництва на одній стадії технологічного процесу буде впливати на встановлення умов на інших стадіях і на вартість виробництва деталей чи виробів у цілому.

Підсумковим же критерієм технологічного процесу взагалі є отримання максимального прибутку в заданий проміжок часу. Для забезпечення максимального прибутку, покриття капіталовкладень і поточних витрат, що включають вартість сировини і обробки, знову ж таки, необхідно забезпечити високу продуктивність на кожній стадії виробництва.

З викладеного виходить, що для забезпечення максимальної ефективності виробничий процес потребує повної оптимізації, а зробити це може тільки спеціаліст-технолог, який розробляє технологічних процес і якому доступна відповідна інформація.

* При написанні цієї теми використано в основному результати роботи [1].

Однак, повна оптимізація виробничого процесу здійснюється рідко. Проблема

може бути розв'язана шляхом використання динамічного програмування, але це рішення має певні труднощі.

Для спрощення часто застосовують часткову оптимізацію на окремих операціях. У подальшому ці режими можуть бути змінені після вивчення взаємодії різних факторів. Ця остання фаза процесу оптимізації звичайно виконується з використанням спеціальних методів.

При частковій оптимізації операцій використовують два критерії: *максимальної продуктивності та мінімальної собівартості деталей.* При використанні цих критеріїв може бути одержана різна вартість деталі чи продуктивність. Використання критерію мінімальної собівартості призведе до деякого зниження продуктивності, а використання критерію максимальної продуктивності викличе подорожчання деталей. Режими, що відповідають повній оптимізації, звичайно заключені між режимами, підібраними за цими критеріями (див. також п. 9.1 рис. 9.4). Існують однак фактори, які можуть вивести оптимальні режими за ці межі.

Третім критерієм оптимізації є максимальний прибуток. У виробничих умовах необхідно оцінити відповідний обсяг і вартість кожної операції технологічного типу.

При виборі економічних режимів обробки необхідно враховувати технічні характеристики металорізальних верстатів. Часто необхідні режими різання не можуть бути забезпечені на верстаті, призначеному для виконання певної операції. В такому випадку необхідно або змінювати режими різання, або підбирати інший верстат, чи модернізувати існуючий верстат, змінити шестерні приводу подач чи коробки швидкостей. З іншого боку, може трапитись так, що економічні режими обробки значно нижчі тих, які можуть бути досягнуті на даному обладнанні. В цьому випадку потрібно використовувати інший, менш складний верстат, а більш складний звільнити для іншої операції.

Як обмеження при виборі економічних режимів різання можна розглядати такі характеристики верстатів:

1) максимальну подачу;

2) максимальну частоту обертання шпинделя;

3) максимальну потужність приводу;

4) максимально допустиму силу різання;

5) межі подачі (чи швидкості), які забезпечують необхідну шорсткість обробленої поверхні;

6) ступені швидкостей та подач.

Собівартість деталі, продуктивність обробки та прибуток

Собівартість обробки деталі складається з декількох статей (див. п. 9.4.2). Для спрощення розглянемо обробку одним інструментом.

1. Непродуктивні витрати C_1, що припадають на одну деталь, включають вартість закріплення та зняття однієї деталі, вартість простою обладнання.

Непродуктивні витрати підраховують за формулою [1]:

$$C_1 = C_{в\text{-}хв} \cdot T_{пр},$$

де $C_{в\text{-}хв}$ – вартість 1 хвилини роботи обладнання;

$T_{пр}$ – сумарний час простою, що припадає на одну деталь.

2. Вартість машинного часу обробки C_2 визначається як добуток вартості 1 хвилини машинного часу $C_{в\text{-}хв}$ на машинний час обробки $T_м$ [1]:

$$C_2 = C_{в\text{-}хв} \cdot T_м.$$

3. Вартість часу на зміну інструмента C_3 визначається як добуток вартості 1 хвилини на час зміни інструмента, що припадає на одну деталь [1]:

$$C_3 = C_{в-хв} \cdot T_{зм.і}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{СТ}}\right),$$

де $T_{зм.і}$ – час зміни інструмента;

$T_{д.ч}$ – дійсний час обробки однієї деталі;

$T_{СТ}$ – стійкість інструмента.

4. Вартість інструмента, віднесена до однієї деталі C_4, дорівнює вартості інструмента, що припадає на різальне лезо $C_{р.л.}$, помножене на кількість різальних лез, що використовуються при обробці даної деталі [1]:

$$C_4 = C_{р.л}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{СТ}}\right).$$

Вартість інструмента, що припадає на одне лезо, залежить від виду інструмента. Для напаяного інструмента ця величина дорівнює:

$$C_{р.л.} = \frac{\text{вартість інструмента}}{\text{число переточувань} + 1}.$$

Для інструмента з багатогранними непереточуваними пластинами:

$$C_{р.л.} = \frac{\text{вартість пластини}}{\text{число різальних граней}} + \frac{\text{вартість державки}}{\text{число різальних граней, що припадає на одну державку}}.$$

У собівартість можуть бути включені й інші витрати, такі як витрати на охолоджуючу рідину, розробку інструмента, оброблюваний матеріал, хоча перелічені витрати, крім витрат на оброблюваний матеріал, можуть бути включені в накладні витрати. Таким чином, собівартість деталі дорівнює:

$$C_т = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5, \qquad (10.1)$$

де C_5 – вартість матеріалу.

Виключаючи вартість матеріалу, маємо:

$$C = C_{в-хв} \cdot T_{пр} + C_{в-хв} \cdot T_м + C_{в-хв} \cdot T_{зм.і}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{СТ}}\right) + C_{р.л}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{СТ}}\right). \qquad (10.2)$$

Розглядаючи рівняння (10.2), бачимо, що собівартість деталі може бути знижена шляхом скорочення часу на закріплення та зняття деталі, простою та зміни інструмента. Для цього можуть бути використані як технічні, так і організаційні методи. Удосконалення матеріалу інструмента і заточування підвищує стійкість інструмента, зменшує кількість змін інструмента і вартість заточування, що припадає на одну деталь, тим самим знижуючи собівартість деталі. Зношування різального інструмента може бути також знижене шляхом зміни властивостей оброблюваного матеріалу. Як правило, накладні витрати важко зменшити. Отже, собівартість деталі може бути зменшена в основному шляхом поліпшення технології.

Збільшення швидкості різання (чи подачі) знижує час обробки $T_м$, але одночасно ще більше зменшує стійкість інструмента. Оскільки $T_м$ пропорційне $1/v$, то $T_{ст}$ пропорційне $1/v^{1/m}$. Таким чином, збільшення швидкості різання може мати зворотний вплив на собівартість деталі, оскільки при зменшенні C_2 збільшується

сума (C_3 + C_4). Вплив швидкості різання на собівартість деталі показаний на рис. 10.1, *а* [1].

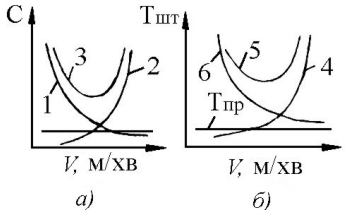


Рис. 10.1. Залежність собівартості С і штучного часу $T_{шт}$ *обробки деталі від швидкості різання:* 1 – *затрати на обробку* C_2*;* 2 – *затрати на інструмент та його зміну* (C_3 + C_4)*;* 3 – *загальні затрати (собівартість* С*);* 4 – *час на зміну інструмента (*$T_{зм.і} \cdot \frac{T_{д.ч}}{T_м}$*);*5 – *повний штучний час;* $T_{шт}$*;* 6 – *машинний час.*

Цікаво відмітити, що мінімальна собівартість відповідає деякій підвищеній вартості інструмента, який має достатньо високий опір зношуванню. Це означає, що властивості інструментального матеріалу визначають можливості металообробних верстатів.

Продуктивність обробки обернено пропорційна часу обробки.

Час, що припадає на одну деталь (штучний час), дорівнює [1]:

$$T_{шт} = T_{пр} + T_м + T_{зм.і}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{ст}}\right). \qquad (10.3)$$

Продуктивність залежить від режимів різання та стійкості інструмента. Для випадку мінімальної собівартості зменшення $T_{пр}$ і $T_{зм.і}$ буде збільшувати продуктивність. Збільшення швидкості різання знижує $T_м$ і збільшує час зміни інструмента, що припадає на одну деталь. Зміни штучного часу (чи продуктивності) в залежності від швидкості різання показані на рис. 10.1, *б*. З графіка випливає, що удосконалення інструментального матеріалу збільшує оптимальну швидкість різання. Пізніше буде показано, що швидкість різання, яка відповідає максимальній продуктивності, трохи вища швидкості різання, що відповідає мінімальній собівартості деталі.

Прибуток ($P_г$), одержаний в одиницю часу, виражається наступним чином [1]:

$$P_г = \frac{\text{доход, що припадає на одну деталь} - \text{собівартість деталі}}{\text{штучний час}}$$

чи

$$P_г = \frac{I_Т - C_Т}{T_{шт}} = \frac{I - C}{T_{шт}}, \qquad (10.4)$$

де $I_Т$ – доход, що припадає на одну деталь, включаючи вартість матеріалу;

С – собівартість однієї деталі, виключаючи вартість матеріалу.

$C_Т$ – собівартість однієї деталі, включаючи вартість матеріалу;

І – доход, що припадає на одну деталь, виключаючи вартість матеріалу;

Коли в собівартість деталі не включено вартість оброблюваного матеріалу, ця

вартість не повинна включатись і в доход, що припадає на одну деталь.

Підставляючи вирази (10.2) і (10.3) у вираз (10.4), одержимо:

$$P_г = \frac{I - C_{в-хв}\left[T_{пр} + T_м + \left(\frac{T_{д.ч}}{T_{ст}}\right)T_{зм.і}\right] - C_{р.л}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{ст}}\right)}{T_{пр} + T_м + T_{зм.і}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{ст}}\right)}$$

чи

$$P_г = \frac{I - C_{р.л}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{ст}}\right)}{T_{пр} + T_м + T_{зм.і}\left(\frac{T_{д.ч}}{T_{ст}}\right)} - C_{в-хв}. \qquad (10.5)$$

Фактори, які знижують собівартість деталей та збільшують продуктивність обробки, збільшують і прибуток в одиницю часу. У загальному випадку швидкість різання, що відповідає максимальному прибутку, буде відрізнятись від швидкостей різання, що відповідають мінімальній собівартості та максимальній продуктивності.

10.2. Операції обробки одним інструментом

Вибір складових технологічного забезпечення операції може змінюватись в залежності від економічних обставин. Правильному вибору верстата, інструмента і оброблюваного матеріалу сприяють технічні знання та практичний досвід.

Припустимо, що верстат, інструмент і оброблюваний матеріал вибрані заздалегідь, непродуктивні витрати зведені до мінімуму. Найбільшу увагу приділимо двом критеріям оптимізації режимів: критерію максимальної продуктивності та критерію мінімальної собівартості.

Операція точіння

Стійкісне рівняння для операції точіння можна представити у вигляді [1]:

$$T_{ст} = \frac{K}{V^{1/m}S^{1/m_1}t^{1/m_2}} = \frac{A}{V^{1/m}S^{1/m_1}} = \frac{B^{1/m}}{V^{1/m}}, \qquad (10.6)$$

де $T_{ст}$ – стійкість інструмента;

V – швидкість різання;

S – подача;

t – глибина різання;

K – постійна величина;

$1/m$, $1/m_1$, $1/m_2$ – показники степеня при швидкості, подачі і глибині різання відповідно.

Крім того,

$$A = Kt^{-1/m_2};$$

$$B = \left(\frac{K}{S^{1/m_1} t^{1/m_2}} \right)^m .$$

Критерій мінімальної собівартості деталі

Собівартість деталі виражається рівнянням (10.2).

Значення $C_{в\text{-}хв}$, $T_{пр}$, $T_{зм.і}$ визначається звичайно з довідникових та нормативних джерел. Якщо відома глибина різання, оптимізація здійснюється шляхом вибору швидкості різання та подачі. Стійкість інструмента підраховується за формулою (10.6), а час $T_м$ приблизно дорівнює дійсному часу різання $T_{д.ч}$ [1]:

$$T_м = \frac{\ell}{Sn} = \frac{\ell}{\lambda VS} \approx T_{д.ч}, \qquad (10.7)$$

де *l* – довжина проходу інструмента;

n – число обертів шпинделя за хвилину;

$\lambda = 1/\pi D$;

D – діаметр заготовки;

V – швидкість різання;

S – подача на оберт.

Підставляючи рівняння (10.7) і (10.6) у рівняння (10.2), одержимо вираз собівартості деталі через значення швидкості та подачі [1]:

$$C = C_{в-хв} \cdot T_{пр} + C_{в-хв} \frac{\ell}{\lambda VS} + C_{в-хв} T_{зм.і} \frac{\ell}{\lambda A} \times$$
$$\times V^{\left[\left(\frac{1}{m}\right)-1\right]} S^{\left[\left(\frac{1}{m_1}\right)-1\right]} + \frac{C_{р.л}}{\lambda A} V^{\left[\left(\frac{1}{m}\right)-1\right]} \cdot S^{\left[\left(\frac{1}{m_1}\right)-1\right]}. \qquad (10.8)$$

З умови мінімуму собівартості деталі можна записати [1]:

$$\frac{\partial c}{\partial V} = 0 \quad \text{і} \quad \frac{\partial c}{\partial S} = 0.$$

$$\frac{\partial c}{\partial V} = 0 \text{, якщо } \frac{\partial c}{\partial V} = 0 \qquad (10.9)$$

і

$$\frac{\partial c}{\partial S} = 0 \text{, якщо } 1 = \left(\frac{1}{m_1} - 1 \right) \frac{V^{1/m} S^{1/m_1}}{A} \left[\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}} \right]. \qquad (10.10)$$

Рівняння (10.9) і (10.10) не можуть бути справедливі одночасно, що означає відсутність єдиного мінімуму. Оскільки $1/m_1 < 1/m$, то для будь-якого значення подачі S швидкість різання, що задовольняє рівняння (10.9), буде нижчою швидкості, обчисленої з рівняння (10.10).

Графік цих рівнянь показаний на рис. 10.2. Вісь, на якій відкладають собівартість деталі, розташована перпендикулярно до площини S–V [1].

У зв'язку з відсутністю єдиного мінімуму необхідно визначити метод для вибору швидкості та подачі, які дадуть допустимий мінімум собівартості деталі.

Розглядаючи рівняння (10.8)–(10.10), можна показати, що оскільки $1/m_1 < 1/m$, то собівартість в точці q (рис. 10.2) нижча, ніж в точці r, і собівартість в точці r нижча, ніж в точці q′. Отже, собівартість деталі зменшується зі збільшенням подачі. Режими

різання, що відповідають допустимому мінімуму собівартості деталі, необхідно вибирати, виходячи з максимально можливої подачі та швидкості різання, підрахованої за рівнянням (10.9). Рівняння (10.9) можна представити у вигляді [1]:

$$\frac{A}{V^{1/m}S^{1/m_1}} = \left(\frac{1}{m} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв}T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right) = T_{CTvm}, \qquad (10.11)$$

де T_{CTvm} – стійкість інструмента, що відповідає мінімальній собівартості деталі.

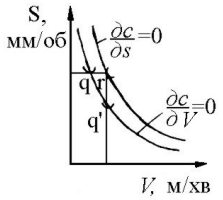


Рис. 10.2. Залежність подачі S від швидкості різання V для випадку мінімуму собівартості C і відсутності обмежень

Це рівняння показує, що дана стійкість інструмента залежить від показника степеня m (чи 1/m) і відношення вартості інструмента до трудових і накладних витрат. Чим більше значення m, тим інструмент менш чутливий до зміни швидкості, T_{CTvm} менше, а оптимальна швидкість вища. Зниження вартості інструмента буде також зменшувати T_{CTvm} і збільшувати оптимальну швидкість. Оптимальна швидкість, що відповідає стійкості інструмента T_{CTvm}, визначається з виразу [1]:

$$\upsilon = \frac{A^m}{T_{CT\upsilon m}S^{m/m_1}}, \qquad (10.12)$$

де S – максимально можливе значення подачі.

Для спрощення розрахунків режимів, що відповідають мінімальній собівартості, розроблено багато номограм та обчислювальних пристосувань. Аналіз показує способи визначення подачі та швидкості в тому випадку, якщо знехтувати різними обмеженнями. Рівнянням відповідають оптимальні умови нульової швидкості різання і нескінченно великої подачі, що є, звичайно, абсурдом. Правильний вибір режимів різання повинен задовольняти декільком обмеженням.

Нижче розглянемо методи вибору режимів різання, що відповідають певному обмеженню.

А. *Обмеження по максимальній подачі верстата*.

Вибирається максимальна подача, а відповідна їй швидкість різання знаходиться з рівняння (10.9), крива q, дивися рис. 10.2. При визначенні $T_{CT\upsilon m}$ з рівняння (10.11) і V з рівняння (10.12) за подачу приймається максимальна подача верстата.

Б. *Обмеження по максимальній швидкості верстата*.

Швидкість і подача визначаються, як і у випадку А, але швидкість різання при цьому порівнюється з максимальною швидкістю верстата. Якщо визначена таким чином швидкість різання нижча за максимальну швидкість, то коректування не потрібно. У протилежному випадку необхідно приймати максимальну швидкість, яку

забезпечує верстат. Як правило, швидкість різання, отримана за наведеними вище рівняннями, буде нижча за максимальну швидкість верстата.

В. *Обмеження по максимальній потужності верстата*.

Потужність різання може бути визначена начступним [1] [4]:

$$N = WVS^{\alpha}t^{\beta}, \qquad (10.13)$$

де W, α, β – постійні для даної комбінації інструмент – оброблюваний матеріал.

Якщо вибрані значення швидкості різання та подачі такі, що відповідна їм потужність різання перевищує потужність верстата, то режими різання повинні бути зменшені, що потягне за собою збільшення собівартості обробки. За можливістю зміна швидкості різання чи подачі повинна бути мінімальною. Вираз (10.13), що відповідає максимальній потужності, представлений графічно (рис. 10.3) разом з графіком для $\partial c/\partial v = 0$.

Собівартість деталі із врахуванням максимальної потужності верстата визначається підстановкою рівняння (10.13) у рівняння (10.8), з якого маємо [1]:

$$C_N = C_{в-хв}T_{пр} + \frac{C_{в-хв}\ell}{\lambda}\left[\frac{Wt^{\beta}}{N}\right]^{1/\alpha} V^{\left[\left(\frac{1}{\alpha}\right)-1\right]} + \\ + \left[C_{в-хв}T_{зм.і} + C_{р.л}\right]\frac{\ell}{\lambda A}\left[\frac{N}{Wt^{\beta}}\right]^{(1/\alpha)[1/m_2-1]} \times \\ \times V^{[(1/m)-1]-(1/\alpha)[1/m_1-1]}. \qquad (10.14)$$

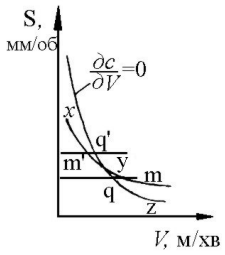


Рис. 10.3. Залежність подачі S *від швидкості різання V для випадку мінімуму собівартості C і обмеження по потужності N*

З рівняння (10.14) видно, що собівартість деталі, що відповідає максимальній потужності, буде безперервно зменшуватись при зменшенні швидкості V, якщо $(m/m_1 < \alpha < 1)$.

Для цих умов вибирається максимально можлива подача і відповідна їй швидкість різання за допомогою кривої xy (рис. 10.3). Якщо максимально можлива подача розташовується нижче точки y, то швидкість різання знаходиться на кривій $\partial c/\partial v = 0$, тобто на ділянці yz. Використовуючи максимальну подачу, швидкість різання визначається з рівнянь (10.13) і (10.9), в розрахунок приймається менше значення швидкості різання [1].

При $(m/m_1 < \alpha < 1)$ собівартість деталі, що відповідає кривій максимальної потужності, буде близька до мінімальної. Мінімум буде розташовуватись на ділянці кривої x–y. Диференціюючи рівняння (10.14) і прирівнюючи до нуля $(\partial c/\partial v = 0)$, знаходимо швидкість, що відповідає мінімальній собівартості [1]:

$$V = \left\{ \left[\frac{\left(\frac{1}{m_1} - 1\right) - \alpha\left(\frac{1}{m} - 1\right)}{1-\alpha} \right] \left[\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}} \right] \left[\frac{N}{Wt^{\beta}} \right]^{1/\alpha m_1} \times \frac{1}{A} \right\}^{(1/\alpha m_1)-(1/m)} . \quad (10.15)$$

Відповідна подача визначається підстановкою значення V з рівняння (10.15) у рівняння (10.13) [1]:

$$S = \frac{N^{1/\alpha}}{W^{1/\alpha} t^{\beta/\alpha} \left\{ \left[\frac{\left(\frac{1}{m_1}\right) - \alpha\left(\frac{1}{m} - 1\right)}{1-\alpha} \right] \left[\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}} \right] \times \left[\frac{N}{Wt^{\beta}} \right]^{1/\alpha m_1} \frac{1}{A} \right\}^{(m-\alpha m_1)/\alpha^2 m_1 m}} . \quad (10.16)$$

Якщо максимально можлива подача перевищує подачу, визначену з рівняння (10.16), то режими різання визначають за рівняннями (10.16) і (10.15). Якщо ж максимально можлива подача менша за оптимальну, визначену з рівняння (10.16), то приймають цю максимальну подачу, а швидкість різання приймають найменшу, визначену з виразів (10.9) і (10.13). В практиці найчастіше зустрічається випадок, коли ($m/m_1 < \alpha < 1$).

Г. *Обмеження по максимальній силі*.

Це обмеження може потребуватись для зменшення пружних деформацій системи інструмент–заготовка і підвищення точності обробки.

Сила різання може бути визначена наступним: [1]:

$$P = ES^{\alpha}t^{\beta}, \quad (10.17)$$

де E – експериментальний коефіцієнт.

Обмеження по силі різання визначає максимальну подачу для заданої глибини різання. Відповідну швидкість різання можна підрахувати за формулою (10.9).

Д. *Обмеження по шорсткості обробленої поверхні*.

Це обмеження визначає максимальну подачу чи мінімальну швидкість різання. Шорсткість обробленої поверхні залежить від геометрії різця та режимів різання. Висота мікронерівностей може бути приблизно визначена із співвідношення [2]:

$$h = S^2/8R,$$

де R – радіус при вершині різця.

Отже, для заданої шорсткості поверхні та геометрії інструмента існує обмежене максимальне значення подачі. Разом з тим, співвідношення справедливе лише для ідеального випадку різання без наросту і вібрацій. Умови, близькі до ідеальних, можна створити при різанні з достатньо високою швидкістю.

Обмеження по шорсткості поверхні можна виразити максимальною подачею S_{it}, яка забезпечує потрібну шорсткість поверхні і мінімальною швидкістю різання.

Для будь-якої заданої шорсткості поверхні можна представити залежність між швидкістю різання та подачею, графічна інтерпретація якої буде подібна до кривої (рис. 10.4) [1]. Коли швидкість стає нижчою v_{min}, подача також повинна зменшуватись. Ця залежність вивчена ще недостатньо повно. Однак ясно, що якщо крива, яка відповідає $\partial c/\partial v = 0$ (рівняння (10.9)), перетинає криву постійної шорсткості поверхні за точкою v_{min} (рис. 10.4, *а*), то собівартість деталі, що відповідає режимам в точці у, буде меншою, ніж в точці А. Режими різання повинні

підбиратись в цьому випадку для точки у, тобто подача S_{it} і швидкість різання з рівняння (10.9). В тому випадку, якщо криві перетинаються так, як це показано на рис. 10.4, *б*, режими різання повинні бути спеціально перевірені на мінімальну собівартість. З рис. 10.4, *б* видно, що собівартість обробки в точках у < C' < A', а собівартість в точках A < D. Крім того, собівартість в точках C < у і в точках C < A. Собівартість в точці у не обов'язково менша, ніж в точці А, і мінімальна собівартість деталі може відповідати режимам в точці, що лежать між точками А і у. Оскільки область між точками А і у невелика, для простоти можна прийняти режими різання в точці А, тобто S_{it} і V_{miv}

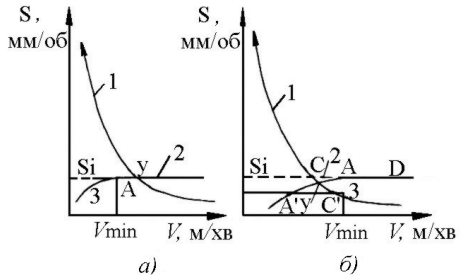


Рис. 10.4. Залежність подачі S *від швидкості різання V для випадку мінімуму собівартості та обмеження по шорсткості поверхні:* 1 *– зменшення собівартості* ∂c/∂v*;* 2 *– крива постійної шорсткості поверхні;* 3 *– область ідеальної шорсткості поверхні*

Е. *Обмеження, викликане ступінчастим характером зміни подачі та швидкості*.

Оскільки швидкість різання і подача верстата можуть змінюватись ступінчасто, то це є своєрідним обмеженням при призначенні оптимальних режимів. Режими різання визначаються находженням максимально допустимої подачі та відповідної їй швидкості. Потім підбирається така швидкість, яка найближча до розрахункового значення.

На остаточний вибір режимів різання можуть впливати різні обмеження (рис. 10.5) [1].

Попередньо приймаються режими в точці 1, що відповідають мінімальній собівартості та максимально можливій подачі верстата. Точка 1 задовольняє обмеженням А і Б. Із врахуванням обмежень по потужності режими змішуються в точку 2, а з врахуванням обмежень по максимальній силі – в точку 3.

Обмеження по шорсткості обробленої поверхні переміщують режими в точку 4. Наступне переміщення режимів викликане тим, що подача в точці 4 не відповідає величині, що є на верстаті. Тому подача трохи знижується. Для цієї подачі підбирається відповідна швидкість різання, яка задовольняє умові мінімальної собівартості V_{5a}. На практиці режими різання, що відповідають мінімальній собівартості, можуть бути знайдені досить швидко, оскільки одночасно можуть діяти не всі обмеження. Для фінішних операцій найбільше значення має обмеження по шорсткості поверхні, тому в першу чергу визначається точка 4. Для чорнової обробки необхідно визначити точки 1 та 2 і не

звертати уваги на обмеження по шорсткості поверхні. Знаючи режими різання, з рівняння (10.8) можна визначити собівартість деталі.

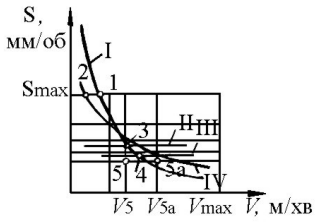


Рис. 10.5. Вибір режимів, що відповідають мінімуму собівартості, із врахуванням різних обмежень: I – *зменшення собівартості (*∂c/∂v*);* II – *максимальна сила;* III – *жорсткість поверхні;* IV – *максимальна потужність N*

Критерій максимальної продуктивності

Для забезпечення максимальної продуктивності штучний час обробки повинен бути мінімальним. Для операції точіння, що виконується за один прохід, штучний час визначається підстановкою виразів (10.6) і (10.7) у рівняння (10.3) [1]:

$$T_{шт} = T_{пр} + \frac{\ell}{\lambda VS} + \frac{T_{зм.i}\,\ell}{\lambda A} V^{(1/m)-1} S^{(1/m_1)-1}. \qquad (10.18)$$

Умову максимальної продуктивності можна записати в такому виді [1]:

$$\partial T_{шт} / \partial V = 0 \quad \text{і} \quad \partial T_{шт} / \partial S = 0$$

чи

$$\frac{\partial T_{ШТ}}{\partial S} = \frac{\ell \upsilon^{-2} S^{-1}}{\lambda}\left[\left(\frac{1}{m}-1\right)\frac{\upsilon^{1/m} S^{1/m_1}}{A} T_{зм.i} - 1\right] = 0;$$

$$\left[\frac{1}{m}-1\right]\frac{V^{1/m} S^{1/m_1}}{A} T_{зм.i} = 1 \qquad (10.19)$$

та

$$\frac{\partial T_{шт}}{\partial S} = \frac{\ell V^{-1} S^{-2}}{\lambda}\left[\left(\frac{1}{m_1}-1\right)\frac{V^{1/m} S^{1/m_1}}{A} T_{зм.i} - 1\right] = 0,$$

тобто

$$\left[\frac{1}{m}-1\right]\frac{V^{1/m} S^{1/m_1}}{A} T_{зм.i} = 1. \qquad (10.20)$$

Рівняння (10.19) і (10.20) не можуть бути справедливі одночасно і, отже, мінімум штучного часу чи максимум продуктивності не є єдиним. Можна показати, що оскільки $1/m_1 < 1/m$, графіки рівнянь (10.19) і (10.20) будуть розташуватись так, як це зображено на рис. 10.6 [1], і штучний час буде зменшуватись (чи продуктивність збільшуватись) при зростанні подачі.

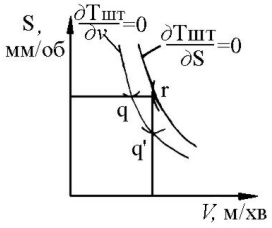


Рис. 10.6. Залежність подачі S *від швидкості різання V для випадку максимуму продуктивності та відсутності обмежень (штучний час в точці* $q < r < q'$*)*

Найбільша продуктивність буде досягнута при максимально допустимій подачі та відповідній швидкості різання, визначеній з рівняння (10.20).

Метод вибору режимів різання, що відповідають максимальній продуктивності, із врахуванням різних обмежень, аналогічний випадку вибору режимів для критерію мінімуму собівартості. При цьому рівняння (10.19) замінює рівняння (10.9) – крива $\partial c/\partial v = 0$ замінюється кривою $\partial T_{шт}/\partial V = 0$, (рис. 10.5).

Рівняння (10.19) можна представити у вигляді [1]:

$$\frac{A}{\upsilon^{1/m} S^{1/m_1}} = \left[\frac{1}{m} - 1\right] T_{зм.і} = T_{СТ\upsilon р}, \qquad (10.21)$$

де $T_{СТ\upsilon р}$ – стійкість інструмента, що відповідає максимальній продуктивності обробки та змінній швидкості різання.

В першу чергу визначається значення стійкості інструмента, а швидкість різання знаходиться після вибору подачі.

Потім за допомогою рівняння (10.18) може бути визначена продуктивність обробки.

Критерій максимального прибутку

Цей критерій базується на знаходженні максимуму рівняння (10.4) чи (10.5). Підставляючи вирази (10.6) і (10.7) у рівняння (10.5), маємо [1]:

$$P_г = \frac{I - \dfrac{C_{р.л}\ell}{\lambda A} V^{\left(\frac{1}{m}-1\right)} S^{\left(\frac{1}{m_1}\right)-1}}{T_{пр} + \dfrac{\ell}{\lambda V S}\left[1 + T_{зм.і}\left(\dfrac{\upsilon^{\frac{1}{m}} S^{\frac{1}{m_1}}}{A}\right)\right]} - C_{в-хв}. \qquad (10.22)$$

Для максимального прибутку:

$$\frac{\partial P_г}{\partial V} = 0 \text{ і } \frac{\partial P_г}{\partial S} = 0.$$

Аналогічно попереднім перетворенням можемо записати [1]:

$$1=\left(\frac{V^{1/m}S^{1/m_1}}{A}\right)\left[\frac{C_{р.л}T_{пр}}{I}+T_{зм.і}\left(\frac{1}{m}-1\right)+\frac{C_{р.л}\ell}{Im\lambda VS}\right], \qquad (10.23)$$

що випливає з рівняння

$$\frac{\partial P_r}{\partial V}=\frac{\frac{\ell V^{-2}S^{-1}}{\lambda}\left[\frac{V^{1/m}S^{1/m_1}}{A}\left\{\left(C_{р.л}T_{пр}+IT_{зм.і}\right)\left(1/m-1\right)+\frac{C_{р.л\ell}}{m\lambda VS}\right\}\right]}{\left[T_{пр}+\frac{\ell}{\lambda VS}\left(1+T_{зм.і}\frac{V^{1/m}S^{1/m_1}}{A}\right)\right]^2}, \qquad (10.23а)$$

а також

$$1=\left(\frac{V^{1/m}S^{1/m_1}}{A}\right)\left[\frac{C_{р.л}T_{пр}}{I}+T_{зм.і}\left(\frac{1}{m_1}-1\right)+\frac{C_{р.л}\ell}{Im_1\lambda VS}\right], \qquad (10.24)$$

оскільки:

$$\frac{\partial P_r}{\partial V}=\frac{\frac{\ell V^{-1}S^{-2}}{\lambda}\left[I-\frac{V^{1/m}S^{1/m_1}}{A}\left\{\left(C_{р.л}T_{пр}+IT_{зм.і}\right)\left(1/m_1-1\right)\right]+\frac{C_{р.л}\ell}{m_1\lambda VS}\right\}}{\left[T_{пр}+\frac{\ell}{\lambda VS}\left(1+T_{зм.і}\frac{V^{1/m}S^{1/m_1}}{A}\right)\right]^2}. \qquad (10.24а)$$

Рівняння (10.23) і (10.24), як і відповідні рівняння відносно інших критеріїв, не можуть бути справедливі одночасно. Ці рівняння можуть бути представлені графічно у вигляді показаному на рис. 10.7 [1].

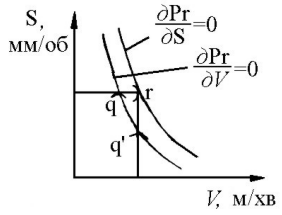


Рис. 10.7. Залежність подачі S від швидкості різання V для випадку максимального прибутку і відсутності обмежень

Вісь, на якій відкладається прибуток, може бути представлена перпендикулярною до площини S–V. Розташування кривих пов'язане з тим, що $1/m_1 < 1/m$. Оскільки прибуток збільшується із зростанням подачі, то прибуток в точках q < r < q'. Режими, що відповідають максимальному прибутку, відшукуються вибором максимально допустимої подачі та швидкості за рівнянням (10.23). Вибір режимів різання за наявності обмежень подібний з викладеним вище із врахуванням заміни відповідних рівнянь. Прибуток визначається підстановкою значень швидкості різання та подачі у рівняння (10.22).

Порівняння трьох критеріїв

Аналіз показує способи визначення економічних режимів різання. Практичний і теоретичний інтерес представляє порівняння критеріїв, на яких базуються ці способи. Відносне розташування кривих, що відповідають оптимальним значенням режимів, вибраним за різними критеріями, показані на рис. 10.8, *а* [1].

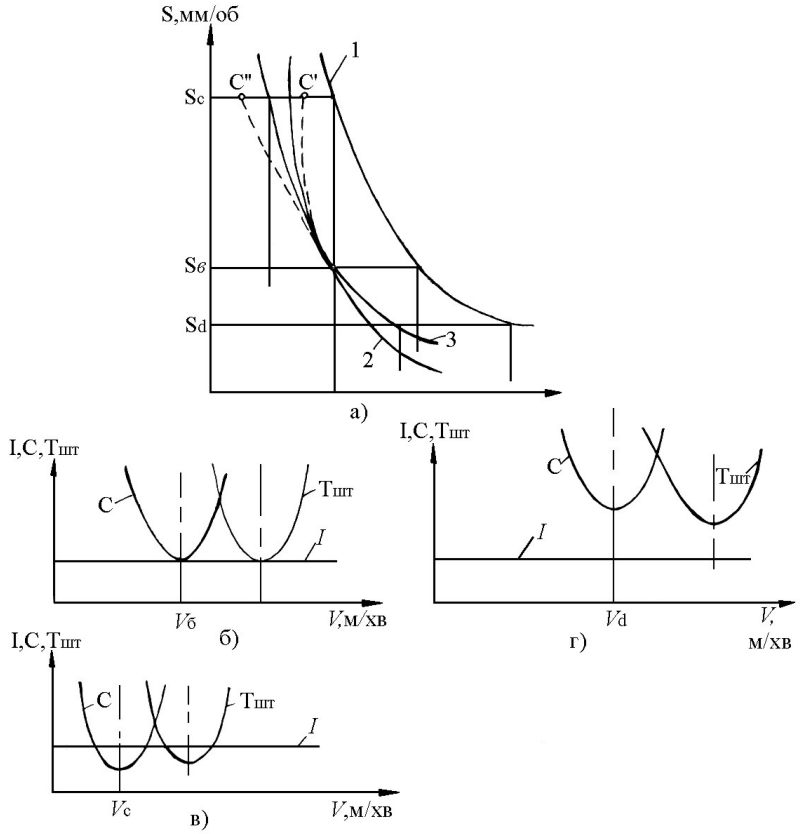


Рис. 10.8. Порівняння трьох критеріїв:
I – *доходу;* $T_{шт}$ – *штучного часу;* C – *собівартості*

$$1-\frac{\partial T_{шт}}{\partial \upsilon}=0;\quad 2-\frac{\partial Pr}{\partial \upsilon}=0;$$

$$3-\frac{\partial C}{\partial \upsilon}=0$$

При від'ємному значенні похідної $\partial P_r/\partial V$ відповідна крива відхиляється правіше кривої максимального прибутку, а при додатному значенні – лівіше (в область низьких швидкостей різання).

Підставляючи рівняння (10.19) в (10.23а), будемо мати [1]:

$$\frac{\partial p_r}{\partial V} = -\frac{\frac{C_{р.л} l}{\lambda A} V^{\frac{1}{m}-2} S^{\frac{1}{m_l}-1}\left[T_{пр}\left(\frac{1}{m}-1\right)+\frac{1}{m\lambda Vs}\right]}{\left[T_{пр}+\frac{1}{\lambda Vs}\left(\frac{1}{1-m}\right)\right]^2} =$$

$$= -\frac{\frac{C_{рп} l V^{\frac{m_l}{m}-1}}{\lambda A^{m_l}\left[T_v\left(\frac{1}{m}-1\right)^{1-m_l}\right]}\left[T_{пр}\left(\frac{1}{m}-1\right)+\frac{lV^{\left(\frac{m_l}{m}\right)-2}}{mlA^{m_2}} T_{зм.i}\left(\frac{1}{m}-1\right)^{m_l}\right]}{\left[T_{пр}+\frac{l}{\lambda}\left(\frac{1}{1-m}\right)\left\{\frac{T_{зм.i}\left(\frac{1}{m}-1\right)}{A}\right\}^{m_l} V^{\frac{m_l}{m}-1}\right]^2}. \quad (10.25)$$

Оскільки похідна має від'ємне значення, то криві $\partial P_г/\partial V = 0$ і $\partial P_{шт}/\partial V$ розташуються інакше, ніж на рис. 10.8, *а*.

Похідна $\partial P_г/\partial V$ визначається за формулою [1]:

$$\frac{\partial P_г}{\partial V} = \frac{\frac{C_{р.л} l}{\lambda A} V^{\left(\frac{1}{m}\right)-2} s^{\left(\frac{1}{m_l}\right)-1}\left(\frac{1-m}{C_{в-хв} m}\right)\left[I - C_{в-хв}\left(T_{пр}+\frac{1}{\lambda Vs(1-m)}\right)\right]}{\left\{T_{пр}+\frac{1}{\lambda A} V^{\left(\frac{1}{m}\right)-1} s^{\left(\frac{1}{m}\right)-1}\left[\frac{T_{зм.i}}{m}+\frac{C_{р.л}}{C_{в-хв}}\left(\frac{1}{m}-1\right)\right]\right\}^2} =$$

$$= \frac{\frac{C_{р.л} l\left(\frac{1}{m}-1\right)^{m_l} V^{\left(\frac{m_l}{m}\right)-2}}{\lambda\left(C_{в-хв}T_{зм.i}+C_{р.л}\right)^{1-m_l} C_{в-хв}^{m_l} A^{m_l}}\left[I - C_{в-хв}\left(T_{пр}+\frac{l\left[\left(\frac{1}{m}-1\right)\left(\frac{C_{в-хв}T_{зм.i}+C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\right]^{m_l}}{\lambda(1-m)A^{m_l}} V^{\frac{m_l}{m}-1}\right)\right]}{\left\{T_{пр}+\frac{lV\left(\frac{m_l}{m}\right)-1}{\lambda A^{m_l}\left(\frac{1}{m}-1\right)\left(\frac{C_{в-хв}T_{зм.i}+C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)^{1-m_l}}\left[\frac{T_{зм.i}}{m}+\frac{C_{р.л}}{C_{в-хв}}\left(\frac{1}{m}-1\right)\right]\right\}^2}$$

Похідна може бути як додатною, так і від'ємною. Отже, крива мінімальної собівартості перетинає криву максимального прибутку. Перетин кривих можливий при $\partial P_г/\partial V = 0$ і $\partial c/\partial V = 0$. Точка перетину визначається рівнянням (10.9) і

$$I - C_{в-хв}\left(T_{пр}+\frac{1}{\lambda Vs(1-m)}\right) = I - C_{в-хв}\left(T_{пр}+\frac{T_м}{1-m}\right) = 0. \quad (10.27)$$

Підстановка цих рівнянь в рівняння (10.22) дає нульове значення прибутку. Якщо

$$I > C_{в-хв}\left(T_{пр} + \frac{T_м}{1-m}\right), \qquad (10.28)$$

то похідна рівняння (10.26) – додатна, так що крива мінімальної собівартості розташована лівіше кривої $\partial P_г/\partial V$. Коли

$$I < C_{в-хв}\left(T_{пр} + \frac{T_м}{1-m}\right), \qquad (10.29)$$

похідна $\partial P_г/\partial V$ – від'ємна і крива $\partial P_г/\partial V = 0$ розташована лівіше кривої $\partial c/\partial V = 0$, як це показано на рис. 10.8, *а*. В цьому випадку можна говорити про збиток, а не про прибуток.

Часто вважають, що режими різання потрібно підбирати за критерієм, який лежить десь між мінімальною собівартістю деталі і максимальною продуктивністю. При цьому передбачається достатньо високий прибуток, що припадає на одну деталь. Зміни собівартості та продуктивності при постійному доході I для трьох значень подачі показані на рис. 10.8 *б–г* [1]. Графік показаний на рис.10.8, *в,* відповідає випадку, коли прибуток дорівнює мінімуму собівартості. Прибуток при швидкості різання $V_в$ і подачі $S_в$ дорівнює нулю. При $V > V_б$ виникає збиток, не зважаючи на високу продуктивність обробки.

Коли $V > V_б$, робота також збиткова, продуктивність обробки низька. Обидва випадки не бажані. Збільшуючи подачу до значення S_c, тим самим зменшують собівартість і штучний час обробки. При постійній величині доходу режими різання, що відповідають прибутковій роботі, розташовуються між точками c″ і c', однак цей діапазон не обов'язково захоплює область між мінімумом собівартості та максимумом продуктивності, хоча такий випадок і не виключений при достатньо високому доході чи збільшеній подачі. Максимальний прибуток буде одержаний при роботі зі швидкостями різання в діапазоні між υ_c'' і υ_c'. При швидкості, більшій ніж υ_c', будемо мати деякий збиток і високу продуктивність обробки. При роботі з подачею S_d доход нижчий за собівартість продукції – робота буде збитковою. Область режимів, що відповідає роботі з прибутком, показана на рис. 10.9 [1].

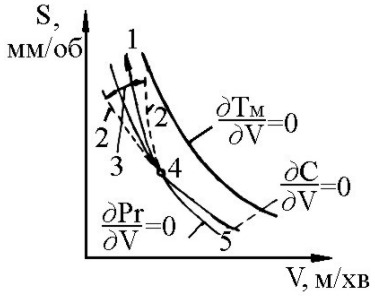


Рис. 10.9. Залежність подачі S *від швидкості різання* V *для трьох критеріїв, що визначають області одержання прибутку і збитку:* 1 *– максимальний прибуток;* 2 *– прибуток рівний нулю;* 3 *– прибуток;* 4 *– збиток; 5 – максимальний збиток*

Розглянута оптимізація не є повною і залежить від оцінки відносного значення окремої операції. Крім економічних, існує багато інших факторів, що впливають на вибір оптимальних умов. Якщо робота на якому-небудь верстаті є

збитковою, то може бути повністю зміненим або технологічний процес, або конструкція деталі, що виготовляється.

В деяких випадках виконання різних операцій на одному й тому ж верстаті призводить до прямо протилежних результатів. Збиткові операції необхідно усувати або шляхом заміни іншими операціями, або шляхом зміни всього технологічного процесу.

З трьох розглянутих критеріїв найбільш зручним для практичного використання є критерій максимальної продуктивності, оскільки йому відповідають прості рівняння, а при його використанні не потрібна інформація про вартість верстато-хвилини, різального інструменту. При використанні максимальної продуктивності у виробничих умовах стійкість інструмента може бути швидко підрахована за допомогою рівняння (10.21), одержаного з рівняння (10.19), і порівняна з дійсною стійкістю різального інструменту.

Критерій мінімуму собівартості є трохи більш ускладненим, оскільки для його застосування необхідно знати вартість верстато-хвилини, вартість різального інструмента, час заміни затупленого інструмента, стійкісні постійні.

Критерій максимального прибутку включає складні рівняння (10.23), для розв'язання якого потрібні спеціальні методи обчислень. Крім того, цей критерій включає розрахункові параметри, при визначенні яких можливі додаткові похибки.

Оптимальні режими різання, вибрані на основі розглянутих критеріїв, часто відрізняються одні від одних несуттєво. В ряді випадків обмежене число ступенів коробки швидкостей і подач верстата значно зменшує цю різницю.

Стругальні операції

Робочий рух стругального верстата зазвичай здійснюється за допомогою гідравлічного приводу. Верстати з гідравлічним приводом забезпечують постійну швидкість головного і зворотного руху, і відношення цих швидкостей може бути постійним не залежно від довжини ходу. Характерним для цих верстатів є переривчатість процесу різання, тому дійсний час різання є лише частиною машинного часу $T_м$.

З рівняння собівартості деталі (10.2) випливає, що мінімальна собівартість буде мати місце в тому випадку, коли машинний час $T_м$ і число змін інструмента $T_{д.ч}/T_{ст}$ будуть мінімальними. Для верстатів з гідравлічним приводом можна прийняти:

$$V/V_г = d, \qquad (10.30)$$

де V – швидкість головного руху;

$V_г$ – швидкість зворотного руху;

$d < 1$.

При постійній довжині L, ширині B заготовки і глибині різання t дійсний час різання дорівнює:

$$T_{д.ч} = \frac{LB}{S\upsilon} = \text{кількість ходів х дійсний час різання за один хід.} \qquad (10.31)$$

При довжині ходу L і сумарній ширині B загальний машинний час дорівнює:

$$T_м = \left[\frac{L}{V} + \frac{L}{V_г}\right]\frac{L}{S} = \frac{BL}{VS}\left[1 + d\right]. \qquad (10.32)$$

Мінімум собівартості буде при $L = L_{min}$ і $B = B_{min}$, тобто:

$$T_м = \frac{l_{min} B_{min}}{VS}\left(1 + d\right). \qquad (10.32а)$$

Підставляючи рівняння (10.31), (10.32а) і (10.6) у рівняння (10.2), одержимо наступний вираз для собівартості деталі [1]:

$$C = C_{в-хв} T_{пр} + \frac{C_{в-хв} L_{min} B_{min}\left(1 + d\right)}{VS} +$$

$$+ \frac{C_{в-хв} T_{зм.і} L_{min} B_{min} V^{\left(\frac{1}{m}\right)-1} S^{\left(\frac{1}{m_1}\right)-1}}{A} +$$

$$+ \frac{C_{р.л} L_{min} B_{min} V^{\left(\frac{1}{m}\right)-1} S^{\left(\frac{1}{m_1}\right)-1}}{A}.$$

Режими різання, що відповідають мінімуму собівартості, визначаються з умов:

$$\frac{\partial c}{\partial V} = 0 \quad і \quad \frac{\partial c}{\partial S} = 0,$$

але

$$\frac{\partial c}{\partial V} = 0 \text{ при } 1 = \left(\frac{1}{1 + d}\right)\left(\frac{1}{m} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{\upsilon^{\frac{1}{m}} S^{\frac{1}{m_1}}}{A}, \qquad (10.33)$$

а

$$\frac{\partial c}{\partial S} = 0 \text{ при } 1 = \left(\frac{1}{1 + d}\right)\left(\frac{1}{m} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{\upsilon^{\frac{1}{m}} S^{\frac{1}{m_1}}}{A}. \qquad (10.34)$$

Звідси можна зробити висновок про відсутність єдиного мінімуму і про зменшення собівартості деталі при збільшенні подачі. Режими різання вибирають шляхом вибору найбільшої подачі та відповідної рівнянню (10.33) швидкості різання.

Рівняння (10.33) може бути представлене у вигляді [1]:

$$T_{CT\upsilon m} = \left(\frac{1}{1 + d}\right)\left(\frac{1}{m} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right), \qquad (10.35)$$

де $T_{CT\upsilon m}$ – стійкість інструменту, що відповідає мінімуму собівартості.

Чим менший дійсний час різання (менше відношення $T_{д.ч}/T_м$), тим нижча стійкість інструменту і вища швидкість різання, що відповідають мінімуму собівартості деталі.

Для забезпечення максимальної продуктивності та максимального прибутку оптимальні режими різання визначаються шляхом вибору максимально можливої подачі та швидкості різання, які задовольняють рівнянням (10.36) і (10.37):

$$\frac{\partial T_{ШТ}}{\partial V} = 0 \text{ при } 1 = \left(\frac{1}{1+d}\right)\left(\frac{1}{m} - 1\right) T_{зм.i} \frac{V^{\frac{1}{m}} S^{\frac{1}{m_i}}}{A} \tag{10.36}$$

і

$$\frac{\partial P_r}{\partial V} = 0$$

$$\text{при } 1 = \left(\frac{1}{1+d}\right)\frac{V^{\frac{1}{m}} S^{\frac{1}{m}}}{A}\left[\left(\frac{C_{р.л} T_{пр}}{I} + T_{зм.i}\right)\left(\frac{1}{m} - 1\right) - \frac{C_{р.л} L_{min} B_{min}}{Im VS}\left(\frac{1+d}{d}\right)\right]. \tag{10.37}$$

Операція фрезерування

В операціях фрезерування, що виконуються за один прохід, ширина b і глибина різання t звичайно задані і є постійними величинами.

Параметрами режиму різання, які потрібно вибрати, є діаметр фрези, кількість зубів, а також економічна подача і швидкість.

Циліндричне і торцеве фрезерування характеризується змінною товщиною шару, що знімається, і постійною швидкістю різання (без врахування швидкості подачі). Стійкість інструмента може бути виражена через еквівалентну товщину зрізу.

Нижче наводиться аналіз циліндричного фрезерування. Аналогічний підхід може бути застосований і до торцевого фрезерування.

Аналіз процесу фрезерування був зроблений Мартеллоті. При цьому було використано загальноприйняті наближені співвідношення.

Геометрія циліндричного фрезерування показана на рис. 10.10. У наближеному аналізі прийнято, що товщина зрізу змінюється лінійно від 0 до величини K_{max}. Еквівалентна товщина зрізу $K_{екв}$ при зрізанні одного елемента стружки буде однією і тією ж самою для всього процесу.

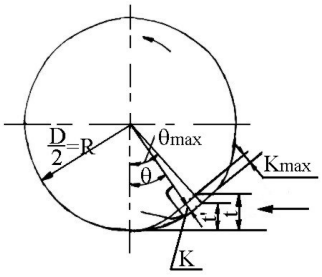


Рис. 10.10. Схема циліндричного фрезерування

Еквівалентна товщина зрізу знаходиться за формулою [1]:

$$K_{екв}^{\frac{1}{m_i}} = \frac{1}{T_{мz}} \int_0^{T_{мz}} K^{\frac{1}{m_i}} dt', \tag{10.38}$$

де T' – час роботи фрези;

$T_{мz}$ – час контакту при зрізанні одного елемента стружки;

K – товщина зрізу;

M_1 – показник степеня у стійкісному рівнянні;

$K_{екв}$ – еквівалентна постійна товщина зрізу, якій відповідає таке ж зношування інструмента, як і при змінній дійсній товщині зрізу в процесі фрезерування.

Товщина зрізу K і кут контакту Θ можуть бути знайдені за наступними формулами:

$$K \approx \frac{2S_{хв}}{nz}\sqrt{\frac{t'}{D}}; \tag{10.39}$$

$$\Theta \cong 2\sqrt{\frac{t'}{D}} \cong 2\pi n T'; \tag{10.40}$$

$$K \cong \frac{2\pi S_{хв}}{z} T', \tag{10.41}$$

де K – товщина зрізу, що відповідає глибині різання t' ;

$S_{хв}$ – хвилинна подача;

n – число обертів шпинделя за хвилину;

z – число зубів фрези;

D – діаметр фрези;

t' – миттєве значення глибини різання.

Максимальне значення K і Θ визначається шляхом підстановки максимального значення глибини різання t замість t'. Час контакту при зрізанні елемента стружки підраховується з рівняння (10.40):

$$T_{мz} = \frac{\Theta_{max}}{2\pi n} - \frac{\sqrt{t/D}}{\pi n}. \tag{10.42}$$

Еквівалентна товщина зрізу визначається з виразу [1]:

$$K_{екв} = \left[\frac{1}{T_{мz}}\int_0^{T_{мz}}\left(\frac{2\pi S_{хв}}{z}\right)^{\frac{1}{m_1}}(T')^{\frac{1}{m_1}}tT'\right]^{m_1} = \frac{K_{max}}{\left[\left(\frac{1}{m_1}+1\right)\right]^{m_1}}, \tag{10.43}$$

де K_{max} – максимальна товщина зрізу:

$$K_{max} = \frac{2S_{хв}}{nz}\sqrt{\frac{t}{D}}.$$

Час обробки заготовки $T_м$ і дійсний час різання $T_{д.ч}$ дорівнюють [1]:

$$T_м = \frac{l+\sqrt{t(D-t)}}{S_{хв}} \approx \frac{l}{S_{хв}}; \tag{10.44}$$

$$T_{д.ч} = \frac{\Theta_{max}}{2\pi}\frac{l}{S_{хв}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)}l}{\pi S_{хв}}. \tag{10.45}$$

Швидкість різання та стійкість виражаються наступним чином:

$$V = \pi D n; \tag{10.46}$$

$$T_{СТ} = \frac{A}{\upsilon^{\frac{1}{m}} K_{екв}^{\frac{1}{m_l}}}. \qquad (10.47)$$

Підставляючи рівняння (10.43)–(10.47) в рівняння (10.2), одержимо вираз для собівартості деталі [1]:

$$C = C_{в-хв} T_{пр} + C_{в-хв} \frac{l}{S_{хв}} + \left(C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}\right) \frac{\pi^{\frac{1}{m}} 2^{\frac{1}{m_l}} l}{A\left(\frac{1}{m_l} + 1\right) \pi z^{\frac{ml}{m_l}}} \times$$

$$\times t^{\frac{1}{2m_l} + \frac{1}{2}} c^{\frac{1}{m} - \frac{1}{2m_l} - \frac{1}{2}} n^{\frac{1}{m} - \frac{1}{m_l}} S_{хв}^{\frac{1}{m_l} - l}. \qquad (10.48)$$

При фрезеруванні хвилинна подача може бути як залежною, так і незалежною від числа обертів шпинделя і може бути виражена наступним чином:

$$S_{хв} = S_z z n \qquad (S_{хв} \text{ і } n \text{ – незалежні}) \qquad (10.49)$$

чи

$$S_{хв} = S_r n \ (S_{хв} \text{ і } n \text{ – незалежні}), \qquad (10.50)$$

де S_z – подача на один зуб фрези;

S_r – подача на один оберт шпинделя.

При хвилинній подачі, що не залежить від числа обертів шпинделя, з рівняння (10.48) випливає, що собівартість обробки зменшується при збільшенні Z і зменшенні D і n. Хвилинна подача, що відповідає мінімальній собівартості, може бути визначена з умови:

$$\frac{\partial c}{\partial V} = 0,$$

тобто [1]:

$$l = \left\{ \pi^{\frac{1}{m}} \frac{2^{\frac{1}{m_l}}}{A\left(\frac{1}{m} + 1\right)\pi} \left[\left(\frac{1}{Z}\right)^{\frac{1}{m_l}} D^{\left(\frac{1}{2m_l}\right) + \left(\frac{1}{2}\right)} D^{\left(\frac{1}{m}\right) - \left(\frac{1}{2m_l}\right) - \left(\frac{1}{2}\right)} n^{\left(\frac{1}{m}\right) - \left(\frac{1}{m_l}\right)} \right] \right\} \times$$

$$\times \left(\frac{1}{m_l} - 1\right) \left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}} \right) S_{хв}^{\frac{1}{m_l}}. \qquad (10.51)$$

Значення $S_{хв}$ може бути визначене в тому випадку, коли інші змінні задані чи вибрані попередньо.

У випадку, якщо хвилинна подача прямо залежить від числа обертів шпинделя, подача S_r і число обертів n, що відповідають мінімальній собівартості, визначаються з умов:

$$\frac{\partial c}{\partial S_r} = 0 \ \text{ і } \ \frac{\partial c}{\partial n} = 0.$$

Звідси, для $\frac{\partial c}{\partial S_r} = 0$:

$$l=\left\{\pi^{\frac{1}{m}}\frac{2^{\frac{1}{m_l}}}{\left(\frac{1}{m_l}+1\right)\pi}\left[\left(\frac{1}{Z}\right)^{\frac{1}{m_l}}t^{\frac{1}{2m_l}}D^{\frac{1}{m}-\frac{1}{2m_l}-\frac{1}{2}}\right]\right\}\times$$

$$\times\left(\frac{1}{m_l}-1\right)\left(\frac{C_{в-хв}T_{зм.i}+C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{n^{\frac{1}{m}}S_r^{\frac{1}{m_l}}}{A} \qquad (10.52)$$

і для $\frac{\partial c}{\partial n}=0$:

$$l=\left\{\pi^{\frac{1}{m}}\frac{2^{\frac{1}{m_l}}}{\left(\frac{1}{m_l}+1\right)\pi}\left[\left(\frac{1}{Z}\right)^{\frac{1}{m_l}}t^{\frac{1}{2m_l}+\frac{1}{2}}D^{\frac{1}{m}-\frac{1}{2m_l}-\frac{1}{2}}\right]\right\}\times$$

$$\times\left(\frac{1}{m_l}-1\right)\left(\frac{C_{в-хв}T_{зм.i}+C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{n^{\frac{1}{m}}S_r^{\frac{1}{m_l}}}{A}. \qquad (10.53)$$

Рівняння (10.52) і (10.53) не можуть бути справедливі одночасно. Мінімально можлива собівартість обробки може бути визначена при найбільшій подачі S_r і відповідному їй числу обертів шпинделя за рівнянням (10.53).

У випадку залежних $S_{хв}$ і n режими різання будуть відповідати мінімуму собівартості при:

1) максимальному числі зубів фрези;

2) найменшому діаметрі фрези;

3) найбільшій подачі S_r;

4) оптимальному числі обертів n, що відповідає рівнянню (10.53).

Рівняння максимальної продуктивності можна отримати шляхом підстановки $T_{зм.i}$ замість виразу $[(C_{в\text{-}хв}T_{зм.i}+C_{р.л})/C_{в\text{-}хв}]$ у рівняннях (10.51)–(10.53) [1].

Рівняння максимального прибутку, що відповідають рівнянню (10.51), одержують підстановкою виразу [1]:

$$\left\{\left[\frac{C_{р.л}T_{пр}}{I}+T_{зм.i}\right]\left[\left(\frac{1}{m_l}\right)-1\right]+\left(\frac{C_{р.л}}{Im_lV}\right)\right\}$$

замість

$$\left[\frac{C_{в-хв}T_{зм.i}+C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right]\left[\left(\frac{1}{m}\right)-1\right].$$

Рівняння, що відповідає (10.53), отримується шляхом заміни

$$\left[\frac{C_{в-хв}T_{зм.i}+C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right]\left[\left(\frac{1}{m}\right)-1\right]$$

на

$$\left\{\left[\frac{C_{р.л}T_{пр}}{I}+T_{зм.і}\right]\left[\left(\frac{1}{m_l}\right)-1\right]+\left(\frac{C_{р.л}l}{Im\ nS_r}\right)\right\}.$$

Остаточний вибір режимів різання при циліндричному фрезеруванні залежить від прийнятого критерію оптимізації та діючих обмежень.

Необхідно підкреслити, що наданий аналіз базується на загальноприйнятому стійкісному рівнянні. В тому випадку, коли залежність стійкості фрези від параметрів режиму різання невідома, собівартість та продуктивність обробки можуть бути підраховані для кожного конкретного поєднання умов на основі експериментальних даних, а оптимальні режими визначені шляхом порівняння числових результатів. Можливе використання обчислювальних машин для оптимізації режимів різання як у випадку, коли стійкісне рівняння відоме, так і в тому випадку, коли воно невідоме.

10.3. Операції багаторізцевої обробки та операції, що виконуються за два проходи

Вибір режимів різання для операції багаторізцевої обробки та операцій, що виконуються за два проходи, може базуватися на різних критеріях. Аналіз цих операцій складний, а досліджень, присвячених даному питанню, відносно мало. Нижче розглянуто деякі найбільш прості з вказаних операцій.

Токарні операції, що виконуються за два проходи

Рівняння собівартості для операції, виконуваної за два проходи, може бути записане наступним чином [1]:

$$C_{11}=C_{в-хв}T_{пр}+C_{в-хв}T'_{пр}+C_{в-хв}\left(T_{сr}+T_{cf}\right)+$$
$$+\left(C_{в-хв}T_{зм.і}+C_{р.л}\right)\left[\frac{(T_{д.ч})r}{T_r}+\frac{(T_{д.ч})f}{T_f}\right], \qquad (10.54)$$

де $T'_{пр}$ – час на переміщення та встановлення інструмента для виконання другого проходу;

T_{cr} – час першого проходу (попередня обробка);

T_{cf} – час другого проходу (остаточна обробка);

$(T_{д.ч})r$ – дійсний час різання при першому проході;

$(T_{д.ч})r$ – дійсний час різання при другому проході;

T_r – стійкість інструменту при першому проході;

T_f – стійкість інструменту при другому проході.

При точінні з довжиною проходу *l* час обробки дорівнює:

$$\left.\begin{aligned}T_{cr}&=\frac{l}{\lambda V_r S_r}\approx(T_{д.л})r\\ T_{cf}&=\frac{l}{\lambda V_f S_f}\approx(T_{д.л})f\end{aligned}\right\}. \qquad (10.55)$$

Приймаючи $\lambda_r=\lambda_f=\lambda$

Стійкість інструмента задана рівнянням (10.7), тобто [1]:

$$\left.\begin{aligned} T_r &= \frac{K}{V_r^{\frac{1}{m}} S_r^{\frac{1}{m_1}} t_r^{\frac{1}{m_2}}} \\ T_f &= \frac{K}{V_f^{\frac{1}{m}} S_f^{\frac{1}{m_1}} t_f^{\frac{1}{m_2}}} \end{aligned}\right\}. \qquad (10.56)$$

Підставляючи рівняння (10.55) і (10.56) в рівняння (10.54), отримаємо значення собівартості обробки однієї деталі [1]:

$$C_{11} = C_{в-хв} T_{пр} + C_{в-хв} T'_{пр} + \frac{C_{в-хв} l}{\lambda}\left[\frac{1}{V_r S_r} + \frac{1}{V_f S_f}\right] +$$

$$+ \frac{1}{\lambda}\left(C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}\right)\left[\frac{V_r^{\frac{1}{m}} S_r^{\frac{1}{m_1}-1} t_r^{\frac{1}{m_2}} + V_f^{\frac{1}{m}} S_f^{\frac{1}{m_1}-1} t_f^{\frac{1}{m_2}}}{K}\right]. \qquad (10.57)$$

Режими різання вибираються, виходячи з мінімальної собівартості обробки:

– з умови $\frac{\partial c_{11}}{\partial V_r} = 0$:

$$\frac{C_{в-хв} l V_r^{-2} S_r}{\lambda}\left[1 - \left(\frac{1}{m} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{V_r^{\frac{1}{m}} S_r^{\frac{1}{m_1}} t_r^{\frac{1}{m_2}}}{K}\right] = 0,$$

тобто

$$1 = \left(\frac{1}{m} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{V_r^{\frac{1}{m}} S_r^{\frac{1}{m_1}} t_r^{\frac{1}{m_2}}}{K}; \qquad (10.58)$$

– з умови $\frac{\partial c_{11}}{\partial S_r} = 0$:

$$1 = \left(\frac{1}{m_1} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{V_r^{\frac{1}{m}} S_r^{\frac{1}{m_1}} t_r^{\frac{1}{m_2}}}{K}; \qquad (10.59)$$

– з умови $\frac{\partial c_{11}}{\partial V_f} = 0$:

$$1 = \left(\frac{1}{m} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{V_f^{\frac{1}{m}} S_f^{\frac{1}{m_1}} t_f^{\frac{1}{m_2}}}{K}; \qquad (10.60)$$

– з умови $\frac{\partial c_{11}}{\partial S_f} = 0$:

$$1 = \left(\frac{1}{m_1} - 1\right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)\frac{V_f^{\frac{1}{m}} S_f^{\frac{1}{m_1}} t_f^{\frac{1}{m_2}}}{K}. \qquad (10.61)$$

Рівняння (10.58) і (10.59) відповідають рівнянням (10.9) і (10.10). Режими різання призначаються шляхом підбору максимально можливої подачі та відповідної рівнянню (10.58) швидкості різання. Аналогічним чином визначаються режими для другого проходу за рівняннями (10.60) і (10.61). Порівнюючи рівняння (10.58) і (10.60), видно, що [1]:

$$\left(\frac{1}{m}-1\right)\left(\frac{C_{в-хв}T_{зм.і}+C_{р.л}}{C_{в-хв}}\right)=\left(T_{СТvь}\right)r=\frac{K}{V_r^{\frac{1}{m}}S_r^{\frac{1}{m_1}}t_r^{\frac{1}{m_2}}}=$$

$$=\frac{K}{V_f^{\frac{1}{m}}S_f^{\frac{1}{m_1}}t_f^{\frac{1}{m_2}}}=\left(T_{СТvm}\right)f=T_{СТvм}\,, \qquad (10.62)$$

де $T_{(СТvm)}r$ – стійкість інструмента на першому проході, що відповідає мінімуму собівартості;

$T_{(СТvm)}f$ – стійкість інструмента на другому проході, що відповідає мінімуму собівартості.

Подачі S_r і S_f є незалежними, в той же час глибини різання t_r і t_f зв'язані співвідношенням:

$$t_r + t_f = t, \qquad (10.63)$$

де t – повна глибина зрізуваного шару металу.

Визначимо співвідношення глибини різання для випадку мінімуму собівартості. Підставляючи рівняння (10.62) і (10.56) у (10.57), одержимо вираз для собівартості деталі [1]:

$$C_{11}=C_{в-хв}T_{пр}+C_{в-хв}T'_{пр}+\frac{lT_{СТvm}^m}{\lambda K^m}\left[C_{в-хв}+\frac{C_{в-хв}T_{зм.і}+C_{р.л}}{T_{СТvrm}}\right]\times\left[S_r^{\frac{m}{m_1}-1}t_f^{\frac{m}{m_2}}+S_f^{\frac{m}{m_1}-1}t_f^{\frac{m}{m_2}}\right]. \qquad (10.64)$$

Для постійних значень подачі S_r і S_f собівартість буде залежати від величин t_r і t_f. Оскільки значення t_r і t_f зв'язані співвідношенням (10.63), достатньо розглянути вплив однієї з цих величин.

Приймаючи $\frac{\partial c}{\partial t_f}=0$, маємо:

$$\frac{m}{m_2}\frac{1}{\lambda}\left(\frac{T_{СТvm}}{K}\right)^m\left(C_{в-хв}+\frac{C_{в-хв}T_{зм.і}+C_{р.л}}{T_{СТvm}}\right)\times$$

$$\times\left[-\left(t-t_f\right)^{\frac{m}{m_2}-1}S_r^{\frac{m}{m_1}-1}+t_f^{\frac{m}{m_2}-1}S_f^{\frac{m}{m_1}-1}\right]=0 \qquad (10.65)$$

чи

$$t_f=\frac{t}{1+\left(\frac{S_f}{S_r}\right)^{m_2(m_1-m)m_1(m_2-m)}}\,. \qquad (10.66)$$

Точка перегину з рівняння (10.65) є максимумом, оскільки друга похідна від'ємна:

$$\frac{\partial^2 c}{\partial t_f^2} = -\frac{m}{m_2}\left(1-\frac{m}{m_2}\right)\frac{1}{\lambda}\left(\frac{T_{CTvm}}{K}\right)^m\left(C_{в-хв}+\frac{C_{в-хв}T_{зм.і}+C_{р.л}}{T_{CTvm}}\right)\times$$

$$\times\left[\left(t-t_f\right)^{\frac{m}{m_2}-1}S_f^{\frac{m}{m_2}}+t^{\frac{m}{m_2}-1}S_f^{\frac{m}{m_2}-1}\right]. \qquad (10.67)$$

Найменше значення максимуму відповідає випадку, коли S_r і S_f мають максимально можливу величину, тобто $S_f = S_r = S$. Отже, $t_f = \frac{t}{2}$.

Собівартість деталі C_1 (рис. 10.11) вивчалась Брауном при однопрохідній обробці. Вона може бути виражена наступним рівнянням [1]:

$$C_1 = C_{в-хв}T_{пр}+\frac{1}{\lambda}\left(\frac{T_{CTvm}}{K}\right)^m\times\left[C_{в-хв}+\frac{C_{в-хв}T_{зм.і}+C_{р.л}}{T_{CTvm}}\right]\cdot S^{\frac{m}{m_1}}t^{\frac{m}{m_2}}. \qquad (10.68)$$

З рис. 10.11 видно, що собівартість двопрохідної обробки вища за собівартість однопрохідної.

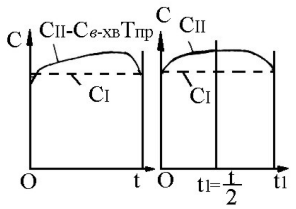


Рис. 10.11. Зміни собівартості C *обробки при точінні за два проходи (по Брауну)*

У виконаному аналізі було прийнято єдине обмеження по подачах. Операція з двома проходами економічно менш вигідна, ніж однопрохідна. У випадку, коли діють додаткові обмеження, обробка в два проходи може бути більш економічною. Такі вимоги можуть виникнути, коли потрібно одержати поверхню з низькою шорсткістю. Подача, що забезпечує одержання такої шорсткості за один прохід, може виявитися надзвичайно малою, що призведе до зростання собівартості. Використовуючи обробку в два проходи (на першому проході – з великою подачею та глибиною різання, а на чистовому проході – з малою подачею та глибиною), можна значно знизити собівартість.

Браун показав, що обробка в два проходи може бути економічніша за обробку за один прохід, коли існує обмеження по потужності верстата.

Багаторізцева токарна обробка

Деякі металообробні верстати працюють за принципом обертання заготовки з постійною швидкістю та подачею за певним циклом декількох різців. Вибір швидкості обертання шпинделя в цьому випадку може базуватися на одному з трьох критеріїв.

1. Визначення мінімуму собівартості для операції, коли зміна всього інструменту проводиться після затуплення одного різця.

Дійсний сумарний час різання деталі дорівнює:

$$T_M = T_{M_1} + T_{M_2} + T_{M_3} + ... + T_{M_i},$$

де $T_{M_1}, T_{M_2}, T_{M_3} ... T_{M_i}$ – час різання кожним різцем 1, 2, 3, ...,i.

Цей вираз можна записати у такому вигляді:

$$T_M = T_{M_1}\left[1 + \frac{T_{M_2}}{T_{M_1}} + \frac{T_{M_3}}{T_{M_1}} + \cdots + \frac{T_{M_i}}{T_{M_1}}\right]. \quad (10.69)$$

Сумарний час роботи між переточуваннями (сумарна стійкість) дорівнює:

$$T_{CT} = T_{CT_1} + T_{CT_2} + T_{CT_3} + \cdots T_{CT_i}, \quad (10.70)$$

де $T_{CT_1}, T_{CT_2}, T_{CT_3} \cdots T_{CT_i}$ – стійкість кожного різця.

Якщо за період стійкості інструмента обробляється р деталей, то

$$T_{CT} = pT_M;\ T_{CT_i} = pT_{M_1};\ T_{CT_2} = pT_{M_2} :\ldots$$

Таким чином,

$$T_{CT} = T_{CT_1}\frac{T_M}{T_{M_1}}$$

чи

$$T_{CT} = T_{M_1}\left[1 + \frac{T_{M_2}}{T_{M_1}} + \frac{T_{M_2}}{T_{M_1}} + \cdots \frac{T_{M_i}}{T_{M_1}}\right]. \quad (10.71)$$

Дійсний час різання кожного інструмента, що припадає на одну деталь, дорівнює:

$$T_{M_1} = \frac{l_1}{nS_1};\ T_{M_2} = \frac{l_2}{nS_2};\cdots;T_{M_i} = \frac{l_i}{nS_i}, \quad (10.72)$$

де l_1, l_2,…l_i – довжина різання кожним інструментом;

S_1, S_2…S_i – відповідні подачі.

Вираз, заключений в дужках в рівняннях (10.69) і (10.71), можна записати наступним чином:

$$\left[1 + \frac{T_{M_2}}{T_{M_i}} + \frac{T_{M_3}}{T_{M_i}} + \cdots + \frac{T_{M_i}}{T_{M_i}}\right] = \left[1 + \frac{l_2S_1}{l_1S_2} + \frac{l_3S_1}{l_1S_3} + \cdots + \frac{l_iS_1}{l_1S_i}\right] = M, \quad (10.73)$$

де M – постійна для даних умов величина.

Собівартість обробки дорівнює:

$$C = C_{в-хв}T_{пр} + C_{в-хв}T_i + C_{в-хв}T_м + \left(C_{в-хв}T_{зм.i} + Y\right)\frac{T_м}{T_{CT}}, \quad (10.74)$$

де $T_{пр}$ – час на встановлення деталі на верстаті;

T_i – час обробки до заміни одного різця наступним;

$T_м$ – сумарний дійсний час різання, що припадає на одну деталь;

T_{CT} – сумарний дійсний час різання між змінами інструмента (стійкість інструмента);

$T_{зм.i}$ – час зміни всіх інструментів;

Y – вартість заточування всіх різальних лез.

Цикл обробки може бути побудований таким чином, що два чи більше інструментів можуть працювати одночасно. В цьому випадку T_i підраховується за формулою:

$$T_i = T_a - T_м, \quad (10.75)$$

де T_a – час циклу, який виключає час на встановлення деталі;

T_i – може бути як постійною величиною, так і залежною від n.

Аналіз оптимальних режимів може бути зроблений як для випадку змінного T_i, так і для постійного T_i. Розглянемо останній випадок.

З рівнянь (10.69), (10.71) і (10.73) випливає, що

$$T_м = T_{м_1} M \tag{10.76}$$

і

$$T_{CT} = T_{CT_1} M . \tag{10.77}$$

Приймемо, що один із різців зношується більш інтенсивно і буде досягати максимального зношування раніше, ніж інші різці. Приймаючи перший різець за лімітуючий інструмент, з рівняння (10.6) маємо:

$$T_{CT_l} = \frac{A}{\left(\frac{n}{\lambda}\right)^{\frac{1}{m}} S_l^{\frac{1}{m_1}}} . \tag{10.78}$$

З рівнянь (10.72) і (10.76) випливає, що

$$T_м = \frac{l_l}{S_l}\frac{M}{n} .$$

Замінюючи значення n із врахуванням виразу (10.78), маємо:

$$T_м = \frac{l_l S_l^{\frac{m}{m_1}-1}}{\lambda_1 A^m} M T_{CT_l}{}^m . \tag{10.79}$$

Підставляючи в це рівняння значення T_{CT_l}, з рівняння (10.77) одержимо:

$$T_м = \frac{l_l S_l^{\frac{m}{m_1}-1}}{\lambda_1 A^m} M^{1-m} T_{CT}{}^m . \tag{10.80}$$

Підставляючи (10.80) в (10.74), одержимо [1]:

$$C = C_{в-хв} T_{пр} + C_{в-хв} T_{CT_l} + \frac{l_l S_l^{\frac{m}{m_1}-1}}{\lambda_1 A^m} M^{1-m} \times$$

$$\times \left[C_{в-хв} T_{CT}^m + \left(C_{в-хв} T_{зм.і} + Y \right) T_{CT}^{m-1} \right]. \tag{10.81}$$

Приймаючи подачу постійною, умову мінімуму собівартості можна записати у вигляді:

$$\frac{\partial c}{\partial T_{CT}} = 0 ,$$

тобто

$$m C_{в-хв} T_{CT}^{m-1} + (m-1)\left(C_{в-хв} T_{зм.і} + Y \right) T_{CT}^{m-2} = 0$$

чи

$$T_{CT} = \left(\frac{1}{m} - 1 \right)\left(\frac{C_{в-хв} T_{зм.і} + Y}{C_{в-хв}} \right). \tag{10.82}$$

Замінюючи T_{CT} із врахуванням рівнянь (10.77) і (10.78), одержимо число обертів шпинделя, що відповідає мінімуму собівартості [1]:

$$n = \left[\left(\frac{1}{\frac{1}{m} - 1} \right) \left(\frac{C_{в-хв}}{C_{в-хв} T_{зм.i} + Y} \right) \left(\frac{AM\lambda_1^{\frac{1}{m}}}{S_1^{\frac{1}{m_1}}} \right) \right]^m . \qquad (10.83)$$

Замітимо, що m є показником степеня при швидкості для лімітуючого інструмента (різець 1). Наведений аналіз припускає рівність значень m для всіх інструментів.

2. Розглянемо операцію, при якій кожний із і різців замінюється після його повного затуплення.

Час різання кожним різцем позначимо $T_{M_1}, T_{M_2}, T_{M_3 \ldots} T_{M_i}$, а відповідну стійкість – $T_{CT_1}, T_{CT_2}, T_{CT_3 \ldots} T_{CT_i}$. Собівартість обробки дорівнює [1]:

$$C = C_{в-хв} T_{пр} + C_{в-хв} T_{CT_i} + \sum_1^i C_{в-хв} T_{M_i} + \sum_1^i \left(C_{в-хв} T_{зм.i} + C_{р.л} \right) \frac{T_{M_i}}{T_i} \qquad (10.84)$$

а із врахуванням рівнянь (10.7) і (10.6) [1]:

$$C = C_{в-хв} \left\{ T_{пр} + T_{CT_i} + \sum_1^i \frac{l_i}{nS_i} + \sum_1^i \frac{C_{в-хв} T_{зм.i} + C_{р.л}}{C_{в-хв}} \frac{l_i}{B_i^{\frac{1}{m_i}} \lambda_i^{\frac{1}{m_i}} S_i} n^{\frac{1}{m_i} - l} \right\}, \qquad (10.85)$$

де m_i – показник степеня при швидкості для будь-якого різця і.

Диференціюючи відносно n, приймаючи подачу постійною та прирівнюючи до нуля, одержимо [1]:

$$\sum_1^i \left\{ \frac{C_{в-хв} T_{зм.i_i} + C_{р.л_i}}{C_{в-хв}} \frac{\ell_i}{S_i B_i^{1/m_i} \lambda_i^{1/m_i}} \left(\frac{1}{m_i} - 1 \right) n^{1/m_i} \right\} = \sum_1^i \frac{\ell_1}{S_i} . \qquad (10.86)$$

Це рівняння розв'язується чисельними методами. Якщо ж показники степеня m_i для кожного інструмента рівні між собою, число обертів, що відповідає мінімуму собівартості, дорівнює [1]:

$$n = \left\{ \frac{\sum_1^i \frac{\ell_i}{S_i}}{\left(\frac{1}{m} - 1 \right) \sum_1^i \frac{\left(C_{в-хв} T_{зм.i_i} + C_{р.л_i} \right)}{C_{в-хв}} \frac{\ell_i}{B_i^{1/m} \lambda_i^{1/m}}} \right\} . \qquad (10.87)$$

У випадку, якщо діють різні обмеження, остаточний вибір режимів повинен здійснюватись в залежності від конкретних умов.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які виникають технічні труднощі при розробці економічного технологічного процесу механічної обробки деталей?

2. Які фактори впливають на економіку механічної обробки?

3. Який існує взаємозв'язок між факторами, що впливають на економіку механічної обробки?

4. Якими критеріями оцінюється економічність технологічного процесу

механічної обробки?

5. Які існують методи оптимізації технологічного процесу механічної обробки?

6. Які існують обмеження при виборі економічних режимів різання?

7. Яку структуру має собівартість обробки деталі? Дайте коротку характеристику її складових частин.

8. Виходячи зі структури собівартості обробки, визначте основні шляхи її зниження.

9. Як впливає швидкість різання на собівартість обробки?

10. Як визначається прибуток, одержаний в одиницю часу?

11. Від яких факторів залежить збільшення прибутку в одиницю часу?

12. Як записується стійкісне рівняння для операції точіння одним інструментом?

13. За яких умов буде мінімальна собівартість обробки деталі?

14. Як залежить собівартість обробки від подачі?

15. Як вибираються режими різання з обмеженням по подачі?

16. Як вибираються режими різання з обмеженням по швидкості різання?

17. Як вибираються режими різання з обмеженням по потужності верстата?

18. Як вибираються режими різання з обмеженням по силі?

19. Як вибираються режими різання з обмеженням по шорсткості обробленої поверхні?

20. Як вибираються режими різання з обмеженням, викликаним ступінчастим характером зміни подачі та швидкості?

21. Як визначається критерій максимальної продуктивності через режими різання?

22. За яких умов досягається максимальна продуктивність обробки?

23. За яких умов досягається максимальний прибуток?

24. Який з критеріїв економічності технологічного процесу механічної обробки найчастіше застосовується на практиці і які для цього є причини?

25. Які особливості оптимізації процесу обробки деталей струганням?

26. Які особливості оптимізації процесу обробки деталей фрезеруванням?

27. Які особливості оптимізації процесу токарної обробки деталей на операціях, що виконуються за два проходи?

28. Які особливості оптимізації процесу токарної обробки деталей на багаторізцевих верстатах?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Армарего И.Дж.А., Браун Р.Х. Обробка металов резанием. / Пер. с англ. В.А. Пастунова. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.

2. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л. – М., 1985. – 496 с.

3. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металов: Справ очник / Под общ. ред. к.т.н В.Н. Баранчикова. – М., 1990. – 400 с.

4. Технологія обработки конструкционних материалов / Под. ред. П.Г. Петрухи. – М.: Высшая школа, 1991. – 512 с.

ЧАСТИНА ІІ

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ СТУДЕНТАМ І ВИКЛАДАЧАМ ПО ОПРАЦЮВАННЮ МАТЕРІАЛУ ЧАСТИНИ ІІ ПІДРУЧНИКА “ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ”

Для успішного вивчення другої частини потрібно попередньо засвоїти матеріал першої частини підручника, а також дисципліни: “Металорізальні верстати”, “Металорізальний інструмент”, “Технологічні методи виробництва заготовок”.

В другій частині детально на конкретних прикладах розглянуто методики розробки технологічних процесів складання машин, одиничних та уніфікованих технологічних процесів виготовлення деталей.

Теоретичні положення другої частини, як і першої, повинні підкріплюватись практикою, яка може складатись з практичних аудиторних занять під контролем викладача і виконання лабораторних робіт.

Зміст практичних занять може бути наступним:

1. Аналіз і розробка технічних вимог до складальної одиниці та окремих деталей, контроль робочих креслень.
2. Попереднє встановлення типу виробництва та організаційної форми складання виробу (виготовлення деталей).
3. Аналіз технологічності конструкції виробу та окремих деталей.
4. Розмірний аналіз конструкції та уточнення методів досягнення точності замикальних ланок.
5. Розробка послідовності та схеми складання виробу.
6. Розробка маршрутної технології загального та повузлового складання виробу.
7. Кодування деталей.
8. Виявлення і аналіз розмірних зв’язків поверхонь деталі та формулювання основних технологічних задач.
9. Вибір та обгрунтування технологічних баз.
10. Розробка маршрутів обробки поверхонь деталей.
11. Розробка маршрутів обробки деталей.
12. Точнісна оцінка різних маршрутів обробки деталі.
13. Формування раціональної структури операцій.
14. Розмірний аналіз технологічних процесів.
15. Вибір обладнання та технологічного оснащення.
16. Встановлення режимів обробки.
17. Нормування операцій технологічного процесу.

18. Оформлення технологічної документації.

19. Визначення економічної ефективності технологічного процесу.

Тематику лабораторних робіт можна рекомендувати наступну:

1. Методи досягнення точності замикальної ланки розмірного ланцюга.

2. Складання вузла.

3. Визначення жорсткості технологічної системи.

4. Визначення залежності зношування різального інструменту від різних факторів та умов обробки.

5. Визначення залежності температурних деформацій технологічної системи від різних факторів та умов обробки.

6. Вплив режимів різання та геометрії різального інструменту на якість обробленої поверхні.

Структура методичних вказівок щодо виконання кожної лабораторної роботи може бути наступною:

– мета роботи;

– обладнання та оснащення;

– стислі теоретичні відомості;

– зміст роботи;

– порядок виконання роботи;

– зміст звіту;

– використана література.

Тема 11. Проектування технологічних процесів складання машин (складальних одиниць)

11.1. Початкові дані для проектування технологічного процесу складання

Для розробки технологічного процесу складання машин чи вузла технологу необхідно мати:

1) складальні креслення, що характеризують машину чи вузол з повнотою, необхідною для чіткого уявлення конструкції;

2) специфікації деталей по вузлах;

3) технічні вимоги на випробовування та приймання виробу;

4) річну програму випуску виробів;

5) режим роботи виробничої структури.

Для проектування використовують довідкові матеріали: рекомендації щодо поліпшення технологічності конструкції виробів, каталоги складального і підйомно-транспортного обладнання, альбоми складального технологічного оснащення, нормативи по нормуванню складальних робіт, приклади складання аналогічних виробів.

Мета технологічного проектування – дати детальний опис процесів складання, виявити необхідні засоби виробництва, площі, необхідну кількість робітників, трудомісткість та собівартість складання виробу.

Технологічні процеси розробляються при проектуванні нових заводів і тих, що реконструюються, при організації випуску нових об’єктів на діючих заводах. Крім того, впроваджені технологічні процеси періодично коректують і покращують на діючих підприємствах.

При проектуванні технологічних процесів для діючих заводів і тих, що реконструюються, необхідно мати відомості про складальне обладнання, площі діючих складальних цехів та інші місцеві умови виробництва. Крім того, потрібно знати, які частини виробу надходять від суміжних підприємств та умови їх постачання.

Складальні креслення та повузлові специфікації деталей необхідні технологу для визначення конструкції виробу, що складається.

Технічні вимоги на приймання виробів, що складаються, та їх вузлів сприяють більш глибокому вивченню конструкції і дають основу для розробки технічних вимог на більш дрібні складальні одиниці.

Річна програма випуску виробів та режим роботи виробничої структури характеризують тип виробництва і визначають ступінь диференціації технологічного процесу складання по операціях.

Під диференціацією розуміють поділ процесу складання на елементи для послідовного виконання на одному або декількох робочих місцях.

Концентрація процесу – це об’єднання ряду дрібних елементів процесу з метою їх комплексного виконання.

11.2. Ознайомлення зі службовим призначенням машини

Під службовим призначенням машини розуміють максимально уточнену і чітко сформульовану задачу, для розв'язання якої призначена машина.

Формулювання службового призначення машини повинно складатись з двох частин: загальної частини і уточнень. В загальній частині формулюються основні функції, для виконання яких призначена машина, а в уточненнях викладаються додаткові умови і вимоги, які цю задачу уточнюють та конкретизують.

Кожна машина призначена для виконання якого-небудь процесу, результат якого має бути корисним людині. Тому вивчення службового призначення потрібно починати з ознайомлення з наміченими результатами дії машини. Так, якщо в результаті має бути одержана продукція належної якості, то формулювання службового призначення виробляючої машини повинне містити відомості про вид, якість та кількість продукції. Наприклад, якщо верстат, точніше, вся технологічна система, повинна забезпечити при обробці отворів у заготовках точність радіального положення отворів в межах 0,1 мм, точність кутового положення в межах 30°, перпендикулярність осей отворів відносно технологічної бази заготовки в межах 0,15 мм на 100 мм довжини, твердість матеріалу заготовки НВ 163–197, масу заготовки 1,95 кг, температуру заготовки 20±10 °С, температуру повітря в цеху 20±4 °С, продуктивність верстата має бути 150 дет./рік, його довговічність – 8 років, то наведенні уточнення службового призначення верстата дозволяють сформулювати технічні вимоги і обгрунтовано задати норми точності як для верстата в цілому, так і для його окремих складальних одиниць. При врахуванні ж впливу на точність заготовок їх вхідних параметрів, інструмента, оснащення можна задати технічні вимоги і на елементи всієї технологічної системи, на якій мають бути оброблені ці заготовки [12].

Другу групу даних по службовому призначенню машини можуть складати показники продуктивності, яку повинна мати машина. Формулювання службового призначення машини повинно включати перелік умов, в яких вона буде працювати і виробляти продукцію потрібної якості та в необхідній кількості.

Умови роботи машини випливають з опису технологічного процесу виготовлення продукції і включає комплекс показників з допустимими відхиленнями, що характеризують якість вихідного продукту, кількість енергії, що витрачається, режими роботи машини і стан навколишнього середовища.

Формулювання службового призначення машини може містити також ряд додаткових відомостей, які необхідно врахувати при її проектуванні та виготовленні, наприклад, вимоги щодо зовнішнього вигляду, безпеки роботи, зручності та простоти обслуговування і керування, рівня шуму, ККД, ступеня механізації та автоматизації.

Спочатку службове призначення формулюється замовником і уточнюється при оформленні замовлення на проектування. Для конструктора формулювання службового призначення машини є вихідним документом, який потім він прикладає до креслень машини. Від технолога, що починає розробку технології виготовлення

машини і є особою, відповідальною за здачу готової машини, крім вивчення, потребується критична оцінка формулювання службового призначення машини.

Розробивши конструкцію та зробивши необхідні розрахунки, конструктор в описі конструкції дає формулювання службового призначення машини та її складальних одиниць, обгрунтовано призначає технічні вимоги і норми точності, що випливають зі службового призначення, вказує методи досягнення потрібної точності у відповідності з даними по кількісному випуску машини, які забезпечують більш економічне її виготовлення.

Приклад службового призначення машини. Токарний гідрокопіювальний напівавтомат призначається для обробки ступінчастих валів з циліндричними шийками, а також фасонного профілю діаметром до 120 мм та довжиною до 500 мм. Вихідні заготовки – прокат і поковки. Точність обробки за діаметральними розмірами – 0,1 мм, за лінійними – 0,4 мм. Верстат передбачений для малосерійного і одиничного виробництва, забезпечений пристроєм для переналагодження його з обробки однієї деталі на іншу за 1–2 хвилини, а також широким діапазоном режимів обробки: $n_{шп.}$ = 81…2040 об/хв; робочі подачі копіювального супорта $S_к$ = 20…700 мм/хв; підрізного супорту $S_п$ = 15…400 мм/хв, тощо.

11.3. Аналіз і розробка технічних вимог до виробу (складальної одиниці) та технологічний контроль робочих креслень

Оскільки технічні вимоги і норми точності машини є відображенням її службового призначення, то, приступаючи до розробки технологічного процесу її виготовлення, технологу необхідно глибоко розуміти зміст вимог, які ставляться до якості машини, що виготовляється, і бути впевненим в тому, що вони розроблені правильно.

Розробка технічних вимог і норм точності є достатньо складним процесом. Нерідкі випадки, коли конструктори намагаються ухилитися від обгрунтування норм, що задаються, чи задають технічні вимоги в прихованій формі. Технологам в таких випадках доводиться уточнювати і навіть доповнювати відсутні технічні вимоги.

Розробці чи проведенню аналізу відповідності технічних вимог і норм точності службовому призначенню машини можуть сприяти:

– теоретичні дослідження фізичної суті явищ, що виникають при роботі машини;

– проведення експериментів на дослідних зразках і моделях чи перших екземплярах машин;

– вивчення досвіду експлуатації машин аналогічного типу;

– міркування логічного характеру на основі досвіду, який має технолог, що виконує аналіз [12].

Аналіз відповідності технічних вимог і норм точності службовому призначенню машини, як і розробка їх при конструюванні, передбачає розв’язання прямої задачі. Тільки йдучи від службового призначення до технічних вимог і норм точності,

можна встановити їх правильність та достатність. Тому технолог, як і конструктор, повинен володіти методом розробки технічних вимог і норм точності машини.

Технічні вимоги повинні містити дані про точність складання, потрібну якість з'єднань, їх герметичність, щільність та жорсткість стиків, необхідну точність балансування обертових вузлів та інші відомості в залежності від призначення виробу. В технічних вимогах допускаються спеціальні вказівки технологічного характеру про методи виконання з'єднань, бажану послідовність складання, методи проміжного і остаточного контролю виробів [14].

Виходячи із службового призначення виробу чи складальної одиниці, проводять аналіз технічних вимог, що є на кресленнях, в стандартах і у спеціальних документах на виріб з випуску його і приймання.

На цьому етапі необхідно встановити:

1) якою мірою та чи інша вимога забезпечує виконання виробом чи складальною одиницею їх службового призначення;

2) що буде, якщо дана вимога буде порушена;

3) наскільки вірно задане числове значення технічних вимог, що розглядаються;

4) чи достатньо тих вимог, що є на кресленні, і які вимоги потрібно ввести додатково для виконання виробом чи складальною одиницею їх службового призначення;

5) наскільки задана якість виконавчих поверхонь деталей відповідає їх службовому призначенню;

6) якими технічними способами буде забезпечене виконання кожної вимоги і якими методами і засобами вони контролюються [14, 21].

Аналіз основних технічних вимог, які визначають точність та експлуатаційну надійність виробу чи складальної одиниці, супроводжують відповідними ескізами і зображенням на них схем контролю, приклад показано в табл. 11.1 [21].

В описі методу перевірки повинна бути дана характеристика вибраного контрольного засобу, що відповідає встановленому типу виробництва виробу чи складальної одиниці: найменування, модель, ціна поділки чи відлік за ноніусом, а також номер стандарту.

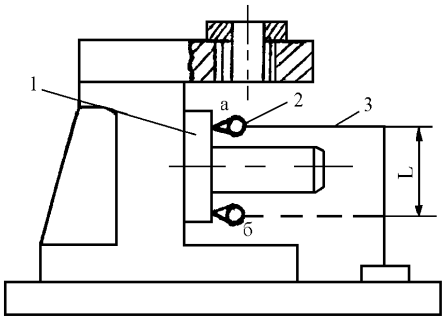
Таблиця 11.1

Метод перевірки технологічних вимог до виробу

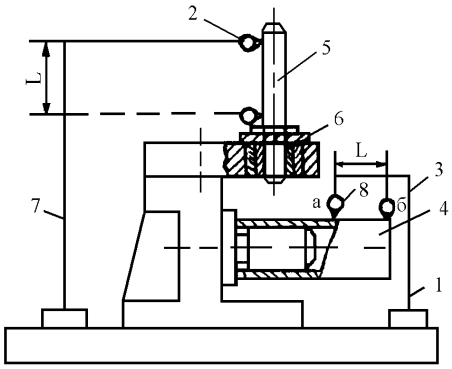
Виріб – пристосування для свердління

Норми точності пристосування повинні відповідати перевіркам 1–3

1. Відхилення від перпендикулярності поверхні опорної пластини відносно основи не більше 0,02 мм на довжині 200 мм	Пристосування встановлюють на контрольну плиту. Вимірювальний пристрій 2 (головку мод. 05205 ТУ 2-034-317-71, ціна поділки – 0,002 мм) закріплюють на оправці 3, змонтованій на вимірювальному стояку так, щоб його вимірювальний наконечник торкався поверхні

	пластини 1. Відхилення визначається алгебраїчною різницею показників вимірювального пристрою 2 в точках а і б

Закінчення табл.11.1

2. Відхилення від паралельності пальця 1 відносно основи не більше 0,03 мм на довжині 200 мм 3. Відхилення від перпендикулярності осі кондукторної втулки 6 відносно основи не більше 0,02 мм на довжині 200 мм 	В отворі кондукторної втулки 6 встановлюють оправку 5. Вимірювальний пристрій 2 (головка 05205, ТУ 2-034-317-71, ціна поділки – 0,002 мм) закріплюють на стояку 7 так, щоб його вимірювальний наконечник торкався поверхні оправки 5. Відхилення визначають як найбільшу алгебраїчну різницю показників пристрою 2 на довжині L. На палець 1 встановлюють вимірювальну втулку 4. На стояку 3 жорстко закріплюють вимірювальний пристрій 8 (головка 05205, ТУ 2-034-317-71, ціна поділки – 0,002 мм) таким чином, щоб вимірювальний наконечник пристрою торкався поверхні втулки 4. Відхилення визначають, як найбільшу алгебраїчну різницю показників пристрою 8 в точках а і б

Аналіз технічних вимог при вивченні складальних і робочих креслень полягає в побудові та розрахунку відповідних конструкторських розмірних ланцюгів для встановлення відповідності допуску замикальної ланки службовому призначенню виробу.

Обгрунтовані та скоректовані допуски на розміри окремих деталей та їх відносне положення у подальшому враховуються при розробці технологічних процесів складання і виготовлення відповідних деталей.

В результаті аналізу технічних вимог технолог може запропонувати конструктивні зміни, уточнення технічних вимог на складання, зміни допусків і номінальних розмірів виробу чи складальної одиниці.

Паралельно з аналізом технічних вимог проводять технологічний контроль робочих креслень.

Складальні креслення, що призначені для розробки технологічного процесу складання виробу, повинні містити [8]:

а) необхідну і достатню кількість проекцій та розрізів, які дозволяють швидко розібратись в конструкції виробу;

б) повузлову та подетальну нумерацію;

в) специфікації деталей;

г) розміри, які повинні бути додержані в процесі складання;

д) зазори і натяги у з'єднаннях;

є) вагу деталей, що виготовляються з допусками на вагу, і вагу виробу;

ж) особливі технічні вимоги, що додержуються в процесі складання.

При вивченні і контролю креслень технолог може внести на розгляд конструктора окремі конструктивні пропозиції, що полегшують складання, але не викликають суттєвих змін в службовому призначенні виробу.

В процесі контролю складальних креслень необхідно впевнитись (послідовно по кожному вузлу виробу) в тому, що:

а) деталь можна легко з'єднати з суміжними деталями;

б) в момент складання чи розкладання інші, вже складені деталі, не заважають;

в) розкладання можна проводити так само зручно, як і складання;

г) при невдалих відхиленнях в розмірах деталей в межах заданих допусків деталлю будують виконуватись функції, передбачені конструкцією.

Помічені технологом у складальних кресленнях і технічних вимогах недоліки, неявності та помилки виправляє конструктор.

Технологічний контроль креслень та технічних вимог проводять по кожній складальній одиниці.

11.4. Попереднє встановлення типу виробництва та організаційної форми складання

Тип виробництва на даному етапі проектування визначають орієнтовно. Серійність складання визначають за даними табл. 11.2 [14]. Для цього потрібно знати річну програму випуску виробів (що визначено у початкових даних на проектування технологічного процесу) і трудомісткість складання виробу, яку можна визначити за аналогічним виробом.

Орієнтовно тип виробництва також можна визначити через такт складання виробу чи складальної одиниці.

Тактом складання називають час між виходом зі складання двох суміжних готових виробів.

Номінальний такт складання можна визначити за формулою:

$$T_в = \frac{F_д}{N},$$

де $F_д$– річний фонд робочого часу в годинах (дійсні річні фонди часу роботи обладнання наведені в табл. 2.3 [21]);

N – річна виробнича програма, шт. (задано в завданні на проектування).

Після визначення такту складання його порівнюють із середньою визначеною тривалістю операцій складання даного виробу (середню тривалість операцій можна взяти також за аналогом).

Якщо такт значно перевищує середню попередньо визначену тривалість операцій, то складання ведуть за принципом серійного виробництва. На одному робочому місці періодично (партіями) складають закріплені до нього різні вироби.

Якщо такт близький до середньої тривалості операцій чи менший її, то складання ведуть за принципом масового виробництва, закріплюючи за кожним робочим місцем певну складальну операцію. В цьому випадку складання виконують потоковим методом. При малому такті (2–3 хв) процес складання диференціюють, виділяючи невеликі за своїм змістом операції. Якщо це за технологічними міркуваннями утруднено чи неможливо зробити, то операції виконують паралельно, дублюючи робочі місця.

При серійному виробництві намічають виробничі партії виробів, виходячи з трудомісткості налагодження обладнання, тривалості процесів складання, календарних термінів випуску виробів та інших організаційних та економічних міркувань. Виробничу партію виробів часто беруть за директивними (плановими) строками випуску.

Орієнтовно виробничу партію частин виробу призначають таких розмірів: при малій програмі випуску і складних виробах її беруть рівною тримісячний програмі; для виробів середньої складності – місячній програмі; для простих виробів з великою програмою випуску – двотижневій програмі [18]. Встановлені виробничі партії коректують при подальшій розробці технологічного процесу.

Після розробки технологічних процесів складання та механічної обробки, а також розрахунку кількості основного обладнання серійність виробництва належить уточненню по коефіцієнту закріплення операцій:

$$К_{з.о.} = О/Р,$$

де О – число операцій, що виконується на дільниці (лінії) протяом місяця;

Р – число робочих місць на дільниці (лінії).

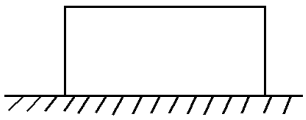
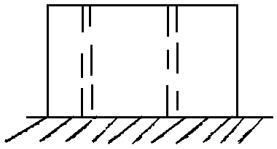
Коефіцієнт $К_{з.о.}$ характеризує ступінь спеціалізації робочих місць. При $К_{з.о.} \leq 1$ тип виробництва масовий, якщо $10 \geq К_{з.о.} > 1$ – великосерійний, при $20 \geq К_{з.о.} > 10$ – середньосерійний, при $40 \geq К_{з.о.} > 20$ – дрібносерійний, при $К_{з.о.} > 40$ – одиничний [21].

Після визначення типу виробництва вибирають організаційну форму складального процесу. На вибір організаційної форми складання впливають конструкція виробу, його розміри і маса, програма і строки випуску. Організаційні

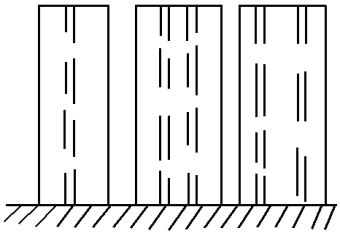
форми складання встановлюють окремо для виробу та його складових частин. В загальному випадку вони можуть бути різними.

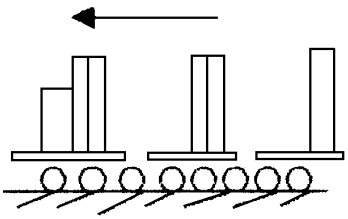
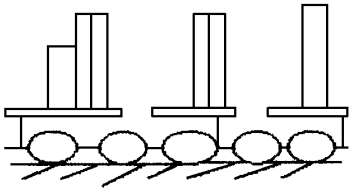
Таблиця 11.2

Основні організаційні форми складальних робіт в машинобудуванні

Схема	Тип виробництва	Організація складальних робіт
1	2	3
	Індивідуальне і дрібносерійне	Стаціонарне складання без поділу процесу. Об'єкт складається один, нерухомий. Всі роботи виконуються однією бригадою висококваліфікованих складальників, роботи по видах заздалегідь між ними не поділені
	Дрібносерійне	Стаціонарне складання з диференціацією робіт. Об'єкт складання один, нерухомий. Весь обсяг складальних робіт заздалегідь поділений на комплекси, які закріплені за окремими робітниками бригади, що спеціалізуються на відповідних видах робіт

Закінчення табл. 11.2

	Серійне	Стаціонарне потокове складання з диференціацією робіт і регламентованим тактом при великому оперативному часі. Об'єктів складання декілька, вони розставлені на стендах в лінію. Обсяг складальних робіт поділений на комплекси, кількість яких дорівнює числу виробів, що складаються одночасно. В складанні беруть участь стільки бригад, скільки об'єктів. Кожна бригада спеціалізується на одному комплексі робіт. Виконавши комплекс на одному об'єкті, вона переходить на новий об'єкт

	Серійне і великосеріяне	Рухоме потокове складання з диференціацією процесу на операції і передачею складального об'єкта від одного робочого місця до другого вручну чи за допомогою механічних транспортуючих засобів. Такт складання регламентований, але об'єкти складання механічно між собою не зв'язані. Можливе накопичення на окремих робочих місцях заробку
	Великосерійне і масове	Рухоме з періодичним чи безперервним переміщенням об'єкта (потокове складання з диференціацією процесу на операції та переходи). За кожним робочим місцем закріплений певний обсяг робіт. Кількість робочих місць дорівнює кількості операцій. Такт точно регламентований. Складений виріб сходить з лінії через проміжок часу, який дорівнює такту

При масовому випуску виробів з'ясовують економічність використання потокового складання. Якщо конструкція виробу має достатню жорсткість базової деталі й відзначається порівняно великою масою, доцільно вибрати потокове складання з безперервним переміщенням виробу, який складається, у протилежному випадку необхідно зупинитися на рухомому з'єднанні з переривчастим переміщенням виробу [14].

Для складання виробів великої маси при відносно малій програмі випуску застосовують нерухоме потокове складання, при якому бригада робітників періодично переміщується з одного робочого місця на інше. При невеликому випуску виробів, коли використання потокових методів складання економічно недоцільне, потрібно застосовувати стаціонарне складання [14].

Основні організаційні форми складальних робіт в машинобудуванні наведені в табл. 11.2 [8].

Після визначення організаційної форми складання треба також визначитись попередньо з наступним:

а) вибрати тип потокових ліній для виробничих дільниць і потокових ліній;

б) встановити ступінь механізації та автоматизації потокових ліній;

в) визначити режим роботи дільниці, лінії та фонди часу роботи технологічного обладнання;

г) розрахувати такт випуску виробів (великосерійне та масове виробництво) чи величину партій їх запуску у виробництво.

Такт випуску розраховують за формулами:

– для т. то номенклатурн лінії:

$$T_в = F_{д.о}60K_з/N;$$

– для т. то номенклатурної лінії:

$$T_в = F_{д.о}\,60\,K_з \,/ \sum_{i=1}^{n} N_i \;;$$

– для автоматичної лінії:

$$T_в = F_{д.л}\,60K_з/N,$$

де $F_{д.о}$ І $F_{д.л}$ – дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання і автоматичної лінії, год.

$K_з$ = 0,75…0,95 – плановий коефіцієнт завантаження обладнання, який враховує простої з організаційно-технічних причин і регламентовані перерви на відпочинок (менше значення $K_з$ відповідає масовому виробництву);

N – річна програма випуску виробів, т..;

N_i – кількість і-их виробів, що належать випуску за рік;

і – порядковий номер виробу, i = 1, 2, … n.

Прийняті на цьому етапі попередні рішення уточнюються при подальшій розробці технологічного процесу.

11.5. Аналіз технологічності конструкції виробу чи складальної одиниці

11.5.1. Загальні відомості

Конструкцію виробу називають *технологічною,* якщо в прийнятих конструктивних рішеннях враховані можливості забезпечення оптимальних затрат праці і коштів на його проектування, виготовлення, технічне обслуговування та ремонт при заданій якості та прийнятих умовах виготовлення, технічного обслуговування і ремонту.

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність (якісну оцінку технологічності) починають вже на етапі технологічного контролю креслень виробу чи складальної одиниці та аналізу їх службового призначення. Результати цієї роботи повинні забезпечити розв’язання таких основних задач:

– зниження трудомісткості та собівартості виготовлення виробу;

– зниження трудомісткості та вартості експлуатації виробу, його профілактичного технічного обслуговування і ремонту.

Порядок і правила відпрацювання конструкції виробу і складальної одиниці на технологічність регламентується державним стандартом. Цим же стандартом встановлено ряд кількісних показників технологічності, які розраховуються для даного виробу і порівнюються з показниками базового виробу, який виступає в даному випадку як еталон.

До основних кількісних показників відносяться: трудомісткість виготовлення виробу; рівень технологічності конструкції по трудомісткості виготовлення; собівартість виробу; рівень технологічності конструкції по собівартості. Крім основних показників, використовують ряд додаткових: витрати матеріалу (маса виробу, його матеріаломісткість та ін.); ступінь уніфікації виробу, яка характеризується коефіцієнтом конструктивної спадковості, повторюваності та стандартизації. До додаткових показників відносяться також ступінь уніфікації технологічних процесів, тобто можливість максимального використання типових технологічних процесів, і показники обробки (коефіцієнт точності обробки, коефіцієнт шорсткості поверхонь тощо).

Крім кількісної оцінки, проводиться також *якісна* оцінка технологічності. Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції узагальнено на підставі досвіду виконавця і проводиться на всіх стадіях проектування як попередня. Їх характеризують показники: добре-погано.

Подальша розробка технології виготовлення виробу проводиться для відпрацьованої на технологічність конструкції.

11.5.2. Технологічні вимоги до конструкції складальних одиниць та рекомендації з поліпшення їх технологічності

Основні вимоги до технологічності виробу:

1. Виріб повинен складатись з одиниць, які можуть складатись окремо, тобто незалежно від складання інших складальних одиниць. Це дозволяє виконувати складальні операції складових частин виробу паралельно, що забезпечує скорочення тривалості виробничого циклу.

2. Кожна складальна одиниця має містити якомога меншу кількість деталей. Їх скорочення досягається шляхом об’єднання в одній деталі функцій декількох. Це зменшує обсяг складальних операцій, а іноді й повністю виключає необхідність їх виконання. Наприклад, гвинт з буртом виконує функції гвинта і шайби (рис. 11.1, *а*). При його виготовленні з капрону забезпечується також ущільнення з’єднання. Виконання на торці бурта зубців (рис. 11.1, *б*) чи відгинання краю бурта (рис 11.1, *в*) зменшує можливість самовідгвинчування. Виготовлення гвинта із західною частиною, яка забезпечує свердління та нарізання різі (рис. 11.1, *г*) у сполучуваній деталі, полегшує процес механізації з’єднання та закріплення деталей [12].

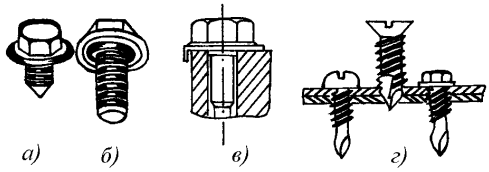


Рис. 11.1. Технологічні конструкції деталей багатофункціонального призначення

Інший ефективний шлях скорочення кількості деталей, особливо кріпильних (гвинтів, штифтів і шпонок), а також зменшення трудомісткості виготовлення виробів можливий за допомогою застосування пружних кришок, втулок, упорних кілець і пальців, які до того ж встановлювати простіше. Перед складанням розміри таких деталей збільшуються за рахунок розтягування чи зменшуються шляхом стискання для збільшення зазору в процесі складання. Звичайну притискну кришку закріплюють до корпусу гвинтами. Для її встановлення необхідно свердлити отвори і нарізати різь під гвинти в корпусі, і обробляти його торцеву поверхню під кришку, а потім загвинчувати і затягувати гвинти. При застосуванні пружного елемента для складання достатньо встановити тільки пружну кришку. При цьому значно скорочуються затрати часу на виготовлення деталей і складання виробів, а відсутність отворів у корпусі під гвинти дозволяє зменшити товщину його стінок. Все перелічене вище забезпечує економію коштів і матеріалів [12].

3. Виріб повинен включати максимальну кількість стандартизованих і нормалізованих складальних одиниць. Це обумовлює збільшення серійності їх випуску і, як наслідок, зниження трудомісткості виготовлення, зниження собівартості.

4. Виріб повинен мати, за можливістю, мінімальну кількість багатоланкових розмірних ланцюгів (наявність їх утруднює одержання необхідної точності замикальної ланки). Якщо скоротити кількість ланок розмірного ланцюга неможливо, необхідно передбачити в конструкції виробу компенсатор.

5. В конструкції складальної одиниці необхідно передбачити можливість суміщення технологічних і вимірювальних баз, це забезпечить більш високу точність складання.

6. Повинна бути передбачена можливість випробовування та обкатування складальних одиниць (якщо це потрібно) до з’єднання їх з іншими елементами машини; дотримання цієї умови виключає появу дефектів на загальному з’єднанні.

7. При розробці конструкції виробу повинна бути передбачена можливість механізації та автоматизації складальних і розкладальних робіт, тобто забезпечене зручне підведення механізованого інструмента до місць з’єднання деталей, і врахована можливість використання підйомно-транспортних засобів при складальних (розкладальних) роботах.

8. Виріб повинен бути сконструйований так, щоб при складанні було мінімум припасувальних робіт і обмежена кількість операцій сумісної механічної обробки деталей, що складаються.

9. Конструкція виробу повинна допускати швидку заміну зношених деталей.

На рис. 11.2 [8] наведені приклади формування деяких з'єднань. Фаски полегшують процес складання деталей (рис. 11.2, *а*), напрямний пояс з рухомою (H8/e8) посадкою полегшує запресовування вала (рис. 11.2, *б*), наявність в деталі отвору d для виколотки полегшує випресовування деталі (рис. 11.2, *в*), нарізні отвори для відтискних гвинтів дозволяють виключити застосування спеціального знімальника для розкладання з'єднання (рис. 11.2, *г*), Конічна опорна поверхня у гайок і гвинтів забезпечує стопоріння нарізного з'єднання (рис. 11.2, *д*). При складанні з'єднань по двох отворах 1 і 2 (рис. 11.2, *е*) їх роблять різних розмірів, що дозволяє запобігти створення на поверхні 2 задирок (крім того, розмір ℓ_1 роблять більшим ℓ_2, що забезпечує краще спрямування пальця при складанні), достатня відстань α від осі нарізного отвору до стінки корпусу дозволяє використовувати більш продуктивний торцевий ключ (рис. 11.2, *є*).

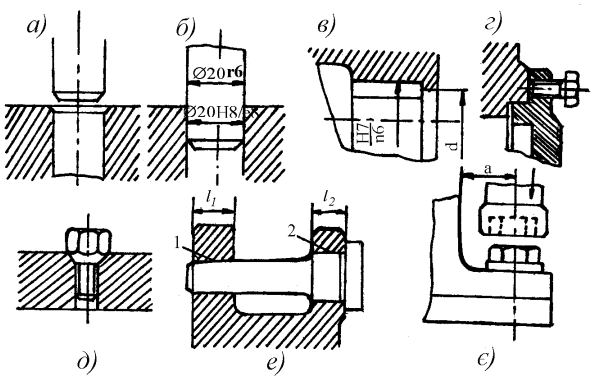


Рис. 11.2. Приклади конструктивного оформлення деяких з'єднань: а – фаски полегшують процес складання деталі; б – напрямний пас з рухомою $\left(\frac{\text{H8}}{\text{e8}}\right)$ *посадкою полегшує запресування вала; в – наявність в деталі отвору для виколотки полегшує випресовування деталі; г – нарізні отвори для відтискних гвинтів дозволяють виключити застосування знімальника для розкладання з'єднання; д – конічна опорна поверхня у гайок і гвинтів забезпечує стопоріння нарізного з'єднання; е – при складанні з'єднань по двох поверхнях 1 і 2 їх роблять різних розмірів, що дозволяє запобігти утворенню на поверхні 2 задирок; є – достатня відстань а від осі нарізного отвору до стінки корпусу дозволяє використовувати більш продуктивний торцевий ключ*

На рис. 11.3, *а* показано нетехнологічну конструкцію через неправильне співвідношення розмірів деталей, що складаються в одному вузлі [8]. Тут зубчасте колесо по діаметру несуттєво більше отвору в корпусі під підшипник. Цей, на перший погляд, непомітний дефект виявляється дуже суттєвим при складанні. Дійсно, щоб скласти вузол, необхідно попередньо ввести зубчасте колесо в корпус через інший отвір, після чого вставити вал, а запресовування зубчастого колеса і

правого підшипника проводити в корпусі. Це ускладнює складання.

Якщо до цього додати, що для пригвинчування кришки лівого підшипника в конструкції не передбачене місце для ключа і у зв'язку з цим шків треба насаджувати після встановлення кришки, то зрозуміло, що конструкція вузла відносно складання надто нетехнологічна, хоча за суто конструктивною оцінкою вона особливих сумнів не виникає.

Для усунення вказаної похибки конструкції необхідно всього лише привести у відповідність діаметри зубчастого колеса і отвору в корпусі (рис. 11.3, *б*), передбачити отвори для торцевого ключа у шківі [8]. В цьому випадку вузол може бути остаточно складений окремо, а при загальному складанні лише поставлений в корпус.

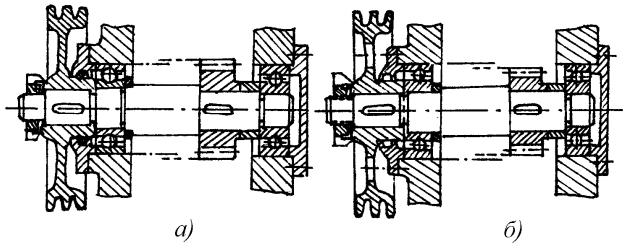


Рис.11.3. Нетехнологічний (а) і технологічний (б)

Приклади правильного і неправильного виконаних вузлів показані на рис. 11.4 [8]. В конструкції вузла (рис. 11.4, *а*) припасувальні роботи при складанні по засвердлюванню отвору і нарізанні різі під стопор можна значно скоротити, якщо замість нарізного стопора ставити гладкий штифт, і зовсім усунути, якщо змінити конструкцію кріплення валика.

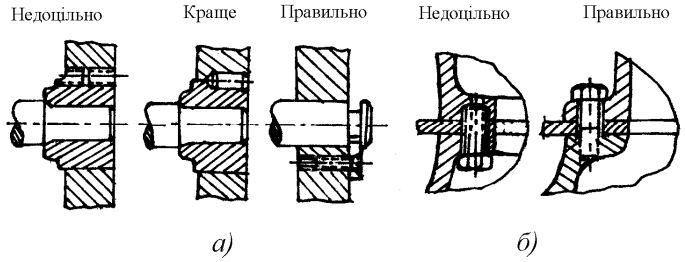


Рис. 11.4. Приклади правильно і неправильно виконаних вузлів

Часто в конструкціях вузлів з'єднувані поверхні деталей мають складну форму, у зв'язку з чим при складанні потребується проводити шабріння, розвертання та інші припасувальні роботи. Крім того, використання таких поверхонь у більшості випадків не викликається технічною необхідністю.

Трудомісткість складання виробу можна значно скоротити в тому випадку, якщо

конструкція забезпечує зручність складання, тобто можливість вільного встановлення і підтримання деталі та інструмента (рис. 11.4, *б*), відкритий підхід і под.

Аналіз на технологічність конструкції виробу чи складальної одиниці дозволяє виявити велику кількість й інших різноманітних прикладів впливу конструкції на трудомісткість та якість складання. Задача полягає в тому, щоб при конструюванні нових машин забезпечувалося дотримання всіх технологічних вимог.

11.6. Розмірний аналіз конструкції та уточнення методів досягнення точності замикальних ланок

11.6.1. Основні положення розмірного аналізу конструкції

Розмірний аналіз – це комплекс робіт по виявленню та побудові схем розмірних зв'язків машин чи складальної одиниці, раціонального проставлення розмірів, призначення раціональних допусків та їх ув'язки, а також оцінки одержання результатів.

Розмірний аналіз дозволяє обгрунтовано задавати розмірно-точнісні характеристики елементів машин і економічно забезпечувати потрібну якість конструкцій, що виготовляються.

Розмірний аналіз конструкції машин при розробці технології потрібний для того, щоб розібратися у взаємозв'язках деталей та складальних одиниць, які створюють машину, визначити методи досягнення необхідної точності машин, проаналізувати правильність проставлення розмірів і допусків у кресленнях машини і внести, за необхідності, зміни розмірів і допусків відповідно до намічених технологічних методів і засобів забезпечення необхідної точності різних параметрів машини.

Розмірні зв'язки конструкції та технологічного процесу виявляються у вигляді розмірних ланцюгів, тому розмірний аналіз базується на основних положеннях теорії розмірних ланцюгів та методах їх розрахунку.

11.6.2. Основні методичні положення розмірного аналізу машини чи складальної одиниці

Для зручності обліку розмірів деталей в процесі побудови розмірних зв'язків складальної одиниці і зручності та швидкості складання розмірних зв'язків деталей на основі зафіксованих даних розмірного аналізу складальної одиниці необхідно при фіксації цих даних дотримуватись таких основних положень [13]:

1. Для того щоб показати взаємозв'язок деталей, складальну одиницю необхідно представити в необхідній кількості проекцій і дати її розрізи в певних площинах. Якщо цих (складених в процесі проектування складальної одиниці) проекцій та розрізів достатньо для розуміння взаємозв'язку деталей, то їх буде достатньо і для

розмірного аналізу складальної одиниці. За необхідності можуть бути складені додаткові спеціальні проекції.

2. Розмірний аналіз складальної одиниці повинен бути проведений в двох площинах з проектуванням всіх взаємозв'язаних розмірів на три осі координат.

3. В складальний розмірний ланцюг повинен входити тільки один розмір деталі.

4. Розмірні зв'язки повинні забезпечувати можливість їх виконання простими технологічними методами.

5. Необхідно представити графічно основні та найбільш складні розмірні ланцюги і системи розмірів. Прості та несуттєві складальні ланцюги можуть бути зафіксовані безпосередньо у вигляді рівнянь.

6. Кожна розмірна схема повинна супроводжуватись поясненням, що представляє собою параметр складальної одиниці (замикальна ланка), який увійшов в даний складальний ланцюг чи систему розмірів (наприклад, зазор, відносне зміщення поверхонь чи осей тощо), із указанням його граничних значень, які можуть бути допущені конструкцією складальної одиниці. Ці відомості необхідні для вибору методу досягнення точності та визначення послідовності розв'язання складальних ланцюгів.

7. Для з'ясування та врахування взаємозв'язку складальних розмірних ланцюгів даного механізму необхідно забезпечити їх порівняння, для чого необхідно розташовувати цю схему на одному аркушу (чи на декількох зручних для порівняння аркушах), не розділяючи їх розрахунками і викладками, зв'язаними зі складанням розрахункових рівнянь.

8. Розрахункові рівняння потрібно розміщувати для кожного ланцюга на окремому аркуші, показуючи на ньому також і схему цього ланцюга. На тому ж аркуші потрібно проводити потім розв'язання даного складального ланцюга чи системи розмірів.

9. Для зручності орієнтації в розмірних схемах, легкості пошуку на них потрібних розмірів тощо потрібно під розмірною лінією, що відображає на схемі ланку складального ланцюга, проставити номер деталі (за специфікацією), якій належить даний розмір.

Система позначень повинна сприяти легкості та швидкості переходу від розмірного аналізу складальної одиниці в цілому до аналізу кожної окремої деталі, що входить до складу даної складальної одиниці. Вона повинна бути вибрана таким чином, щоб розглядаючи загальну схему розмірних зв'язків, було легко бачити, яку деталь представляє той чи інший розмір.

Система позначень повинна забезпечувати можливість легко орієнтуватись в розмірних схемах при побудові на їх основі розмірних зв'язків деталей, з достатньою швидкістю виявляти загальні ланки складальних ланцюгів, що необхідно для з'ясування послідовності їх розв'язання, легко координувати складальні розмірні ланцюги, в процесі побудови розмірної схеми деталі вибирати із зафіксованих даних розмірного аналізу складальної одиниці розміри, що належать даній деталі.

11.6.3. Порядок проведення розмірного аналізу конструкції машини чи складальної одиниці

У загальному вигляді порядок розмірного аналізу наступний [13].

1. Виявлення параметрів (див. пп. 3.4.1, 3.4.4).

Наприклад, для забезпечення нормальної роботи конічно-циліндричного редуктора (рис. 3.20) необхідно при виготовленні та складанні виконати наступні вимоги щодо точності відносного положення деталей, тобто розв'язати такі конструкторсько-технологічні задачі:

а) зміщення $А_Δ$, $В_Δ$ вершин ділильних конусів шестерні та колеса відносно осей обертання відповідно колеса і шестерні повинні бути у заданих межах;

б) кут $М_Δ$ між осями обертання конічних коліс повинен бути витриманий у визначених межах;

в) відстань $Б_Δ$ між осями циліндричних зубчастих коліс, що обертаються, повинна бути в заданих межах;

г) осі обертання циліндричних зубчастих коліс повинні бути паралельні в площині креслення (допуск паралельності осей $Т_{βΔ}$) і в площині, перпендикулярній до площини креслення (допуск на перекіс осей $Т_{γΔ}$);

д) для нормальної роботи підшипників між кришками і торцями зовнішніх кілець підшипників при складанні необхідно забезпечити зазори ($Н_Δ$, $К_Δ$, $М_Δ$), достатні для компенсації теплового розширення вала і які не перевищують допустиме осьове зміщення валів.

2. Виявлення розмірних ланцюгів (див. пп. 3.4.1, 3.4.4).

3. Виявлення характеру взаємозв'язків між ланцюгами та визначення послідовності їх розрахунку.

Розмірні ланцюги можуть бути незалежними, паралельно зв'язаними (мають одну чи кілька спільних ланок), послідовно зв'язаних (мають одну спільну базу) і комбіновано зв'язаними (мають спільні ланки і бази). При розв'язанні незалежних і послідовно зв'язаних розмірних ланцюгів порядок їх розрахунку не впливає на остаточний результат. Розрахунок паралельно зв'язаних розмірних ланцюгів наведений у п. 3.2.7.

4. Вибір методу досягнення точності замикальної ланки.

Точність замикальної ланки може бути забезпечена методами повної взаємозамінності, неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, припасування та регулювання. При виборі методу досягнення точності насамперед встановлюють придатність методу повної взаємозамінності. Якщо кількість ланок не велика (3…4), а призначений конструктором допуск на замикальну ланку даного розмірного ланцюга дорівнює сумі допусків на всі його складові ланки або перевищує їх, то застосування методу повної взаємозамінності можливе.

При багатоланковому ланцюгу й жорсткому допуску на замикальну ланку метод повної взаємозамінності непридатний, оскільки допуски на складові ланки виходять дуже жорсткими, що нерентабельно спробувати здійснити складання методом неповної взаємозамінності, передбачаючи певний відсоток браку при складанні через

недотримання допуску на замикальній ланці розмірного ланцюга. Підрахунки показують, що при порівняно невеликому ризику браку (0,27 %) і при кількості ланок $m \geq 5$ допуски на складові ланки ланцюга можуть бути розширені в 1,5…2,5 рази. У цьому випадку економія від значного зниження точності обробки деталей може перевищувати витрати виробництва на розкладання і перекомплектацію порівняно невеликої кількості некондиційних виробів.

При високій точності замикальної ланки в триланковому ланцюгу може застосовуватися метод групової взаємозамінності. Всі дані щодо цього методу складання (допуски на виготовлення сполучених деталей і кількість розмірних груп, на які розбиваються деталі) повинні бути повно й чітко викладені в складальних кресленнях і технічних умовах.

Якщо методи повної, часткової та групової взаємозамінності непридатні, можна використовувати метод припасування або метод регулювання. Таке рішення завжди знаходить відображення в конструкції виробу. У першому випадку на кресленнях виробу потрібно застерегти, на яких поверхнях проводиться припасування і який припуск на нього треба залишити. У другому випадку в конструкції передбачають жорсткий або регульований компенсатор. При розмірному аналізі технолог може внести зміни в прийнятий конструктором метод досягнення точності замикальної ланки. Звісно, такі зміни погоджуються з конструктором.

5. Розрахунок розмірних ланцюгів.

Відповідно до вибраного методу досягнення точності розраховують розмірні ланцюги, використовуючи при цьому ту чи іншу методику розрахунку [13, 17].

Розмірний аналіз і остаточне встановлення методів досягнення точності замикальних ланок зумовлюють вид складання:

а) за принципом індивідуального припасування (одиничне і дрібносерійне виробництво);

б) за принципом взаємозамінності (великосерійне і масове виробництво);

в) за принципом неповної взаємозамінності індивідуальним (одиничне і дрібносерійне виробництво) або груповим (великосерійне і масове виробництво) добором.

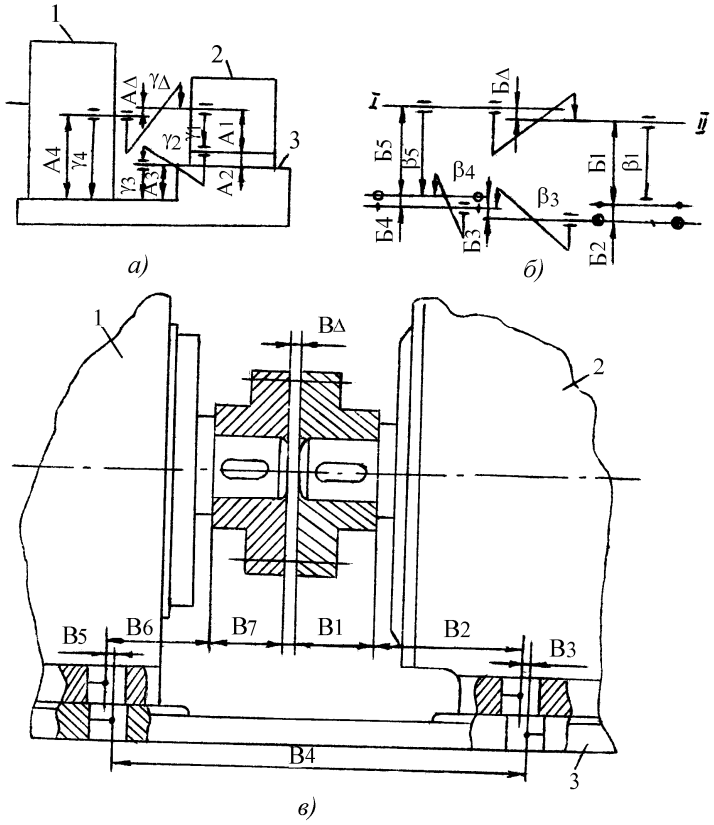


Рис. 11.5. Схеми приводу машини (а) і його розмірних ланцюгів (б, в)

Приклад аналізу складальної одиниці

Необхідно забезпечити точність взаємного розташування електродвигуна 2 і редуктора 1, що встановлені на загальній рамі 3 (рис. 11.5, *а*, *б*) [13]. Відносне їх розташування повинно забезпечити правильне розташування з'єднуваних валів, яке визначається трьома параметрами: допустимими зміщеннями в радіальному і осьовому напрямках і допустимим кутом повороту. Оскільки вали з'єднуються муфтою, то ці три вихідні параметри залежать від типу з'єднувальної муфти. В залежності від цього можуть бути допущені більш чи менш значні зміщення і перекіс з'єднуваних валів.

Для зручності розгляду та розрахунку радіальне і кутове зміщення, які є просторовими похибками, приводимо до вертикальної та горизонтальної площин, здійснюючи тим самим перехід від двох складальних просторових ланцюгів до чотирьох більш простих.

Тоді задача формулюється так: необхідно забезпечити точність $А_Δ$, $Б_Δ$ розташування осей I та II валів у вертикальній і горизонтальній площинах, точність

η_Δ, β_Δ кутового розташування осей I та II в цих площинах і точність B_Δ розташування валів в осьовому напрямку (рис. 11.5, *в*).

Отже, розв'язання задачі забезпечується п'ятьма розмірними ланцюгами.

Розмірні ланцюги А, η (рис. 11.5, *а*) визначають точність розташування осей валів електродвигуна і редуктора у вертикальній площині. Таким чином, відхилення від співвісності валів у вертикальній площині визначається похибками розмірів A_1–A_4, а також відхиленнями від паралельності η_1–η_4.

Граничні відхилення розмірів A_1 і A_4 встановлені державним стандартом і для розмірів до 250 мм складають – 0,5, від 250 до 630 мм – 1,0 мм. Граничні відхилення кута η_1 для електродвигунів нормальної точності складають 0,15/100 мм/мм, а кута η_4 – 0,1/100 мм/мм.

Розмір B_4 (рис. 11.5, *в*), що зв'язує на рамі системи кріпильних отворів під електродвигун і редуктор, безпосередньо впливає на точність осьового положення цих вузлів. Тому на кресленні рами обидві системи повинні бути зв'язані між собою по двох координатних напрямках.

За складеними розрахунковими схемами і призначеними допусками замикальних ланок оцінюють попереднє значення допусків на виготовлення деталей і складальних комплектів і вибирають метод досягнення потрібної точності при загальному складанні виробу. Так, співвісність валів у горизонтальній площині забезпечують при складанні переміщенням і поворотом вузлів по базових площинах.

Радіальне зміщення у вертикальній площині за необхідності зменшують за допомогою компенсуючих прокладок A_2 (рис. 11.5, *а*). Під кожну лапу електродвигуна ставлять по одній прокладці, які потім фрезерують чи шліфують до потрібного розміру, чи набір з 2–3 прокладок, вибраних з ряду товщин: 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 мм.

Радіальне зміщення в горизонтальній площині зменшують вивіренням положення вузлів при їх переміщенні по базових площинах. В цьому випадку можливе сумарне радіальне зміщення A_Δ осей валів при нормальній точності складання може бути забезпечене в межах 0,3–0,7 мм, при підвищеній та високій – 0,05–0,15 мм.

При підвищеній точності складання під кожну лапу електродвигуна ставлять прокладки різної товщини чи шліфують їх з нахилом, а при високій точності складання шабрують.

Паралельність осей валів в горизонтальній площині підвищують вивіренням положення вузлів при їх повороті на базових площинах. В цьому випадку можливе сумарне кутове зміщення осей може бути забезпечене при складанні за високою та підвищеною точністю в межах 0,05/100 – 0,25/100 мм/мм.

Осьове зміщення B_Δ за необхідності зменшують вивіренням осьового положення вузлів. В залежності від потрібної точності складання воно може бути забезпечене в цьому випадку в межах 0,1…0,5 мм.

На кресленні загального виду приводу необхідно проставити значення складових ланок всіх розмірних ланцюгів виробу, що проектується. На робочі креслення деталей повинні бути нанесені розміри, які входять у виявлені розмірні ланцюги.

11.7. Розробка послідовності та змісту операцій, нормування технологічних процесів

11.7.1. Розробка послідовності та схеми складання

Розробляючи послідовність складання машини, необхідно враховувати, що весь складальний процес – це наступні стадії: ручна слюсарна обробка і припасування деталей (застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництвах); попереднє складання (з'єднання деталей в окремі складальні одиниці); загальне чи остаточне складання (складання всієї машини); регулювання (вивірення правильності взаємного положення і взаємодії всіх елементів машини); випробовування машини [14].

Перед тим як приступити до визначення послідовності складання машини чи складальної одиниці, потрібно за кресленням машини та специфікаціями, що додаються до них, виявити всі складальні одиниці і окремо деталі, що входять до складу машини. Виділення того чи іншого з'єднання в складальну одиницю повинно бути можливе і доцільне як у конструктивному, так і в технологічному відношеннях, тобто вони повинні характеризуватись незалежністю та закінченістю складання, а при транспортуванні по робочих місцях не розпадатись на окремі деталі [14].

Послідовність загального складання виробу в основному визначається його конструктивними особливостями і прийнятими методами досягнення потрібної точності, а тому не може бути довільною.

Якщо якість виробу забезпечується методами повної чи групової взаємозамінності, то послідовність складання може бути будь-якою (у відповідності з розташуванням деталей на валах чи інших базових деталях), лише тільки не потребувалося розкладання виробу через несприятливе співвідношення розмірів деталей, що встановлюються, від яких також залежать напрямки переміщення деталей, що встановлюються, при складанні [8].

При застосуванні методів неповної взаємозамінності, припасування та регулювання визначальним фактором при виборі варіанта послідовності встановлення деталей у виріб є мінімальний об'єм розкладально-складальних, припасувальних та регулювальних робіт. Якщо в процесі складання застосовують метод припасування в малоланкових (з трьома–чотирма ланками) розмірних ланцюгах, то припасування деталей необхідно виконати до того, як будуть встановлені підшипники, манжети та інші деталі складуваного виробу, для того щоб виключити попадання стружки в них. При використанні методів припасування та регулювання із застосуванням спеціальних рухомих і нерухомих компенсаторів для досягнення точності замикальних ланок виробів на початку необхідно встановити всі деталі, що входять в ці розмірні ланцюги, а потім компенсатор, який якщо це потрібно, фіксують кріпильними елементами, а іноді й кришками.

Взагалі ж, при визначенні оптимальної послідовності складання виходять з таких принципів [8]:

1. Загальне складання виробу потрібно починати зі встановлення на

складальному стенді чи конвеєрі базуючої деталі виробу, після чого уточнюють послідовність встановлення на неї решти одиниць і деталей.

2. Подальше складання починають з тих складальних одиниць чи деталей, розміри і відносне положення поверхонь яких є загальними ланками, що належать найбільший кількості розмірних ланцюгів. Так, наприклад, для двоступінчастих редукторів це буде середній (проміжний) вал, який сприймає та передає крутний момент найбільшому числу інших валів редуктора.

3. Далі поступово переходять до складання тих складальних одиниць і деталей, розміри і відносне положення поверхонь яких є загальними ланками, що належать розмірним ланцюгам, число яких послідовно зменшується. За інших рівних умов складання починають з того розмірного ланцюга, за допомогою якого розв'язується найбільш відповідальна задача.

4. В кожному з розмірних ланцюгів складання потрібно починати з тих складальних одиниць і деталей, лінійні і кутові розміри яких є ланками основної гілки розмірного ланцюга, тобто гілки яка не містить вихідної (замикальної) ланки. Отже, завершувати складання слід установленням тих елементів з'єднання, які створюють його замикальну ланку.

Для наочного уявлення послідовності складання виробу виконують схеми складання. Складальні одиниці виробу в залежності від їх конструкції можуть складатись або з окремих деталей, або з вузлів і підвузлів і деталей.

Розрізняють підвузли першого, другого і більш високих ступенів. Підвузол першого ступеня входить безпосередньо до складу вузла, підвузол другого ступеня до складу першого і т.д. Підвузол останнього ступеня складається тільки з окремих деталей.

Технологічні схеми складаються окремо для загального складання виробу і для складання кожного з його вузлів (підвузлів).

Розглянемо принцип технологічних схем на прикладі складання вузла муфти зчеплення (рис. 11.6). Технологічна схема складання даного вузла показана на рис. 11.7, *а*, а технологічні схеми складання підвузлів – на рис. 11.7, *а–в* [5]. Цифрами на схемі складання муфти зчеплення позначені номери деталей. На технологічних схемах муфти зчеплення екскаватора кожний елемент вузла позначений прямокутником, розділеним на три частини. У верхній частині прямокутника вказано найменування елемента деталі, підвузла чи вузла, а в лівій нижній частині – індекс елемента, в правій нижній частині – число складуваних елементів. Індексація елементів виконується у відповідності з номерами та індексами, які присвоєні деталям і вузлам (підвузлам) на складальних кресленнях виробу. Вузли (підвузли) позначаються літерами "СО" (складальна одиниця). Базовим називається елемент (деталь, вузол, підвузол), з якого починається складання. Кожному вузлу присвоюється номер його базової деталі. Наприклад, "СО7" – вузол з базовою деталлю № 7 [5].

Як вказувалось вище, розрізняють підвузли першого, другого і більш високих ступенів. Відповідний ступінь підвузла вказують цифровим індексом перед літерним позначенням "СО". В розглядуваному прикладі стакан у складеному вигляді має індекс "ІСО.10", що означає підвузол першого ступеня з базовою деталлю №10 [5].

Технологічні схеми будують за наступним правилом [5]. В лівій частині схеми вказують базовий елемент (базову деталь чи базовий вузол, підвузол), а в правій частині схеми – виріб (вузол, підвузол) в складеному вигляді. Ці дві частини з'єднують горизонтальною лінією. Вище цієї лінії прямокутниками позначені всі деталі у порядку послідовності складання. В нижній частині прямокутника показані вузли, що входять безпосередньо у виріб. На схемах повузлового складання позначають підвузли першого порядку (ІСО.10), на схемі складання підвузла першого порядку – підвузли другого порядку (наприклад, 2СО.14) і т.д. Технологічні схеми складання супроводжують підписами, якщо такі не очевидні із самої схеми, наприклад, "Запресувати", "Зварити" і т.д. Розробка технологічних схем складання значно спрощується за наявності зразка виробу.

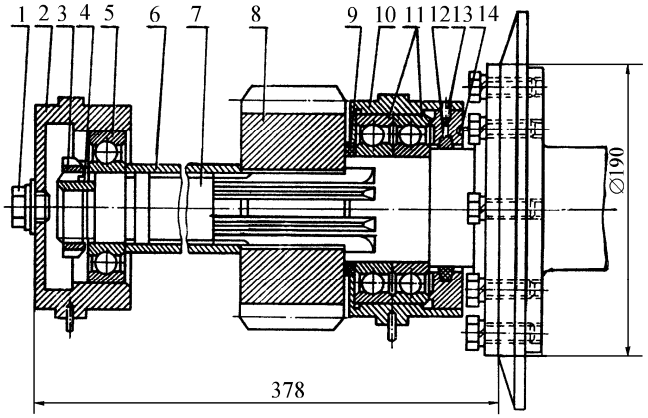


Рис. 11.6. Вузол муфти зчеплення

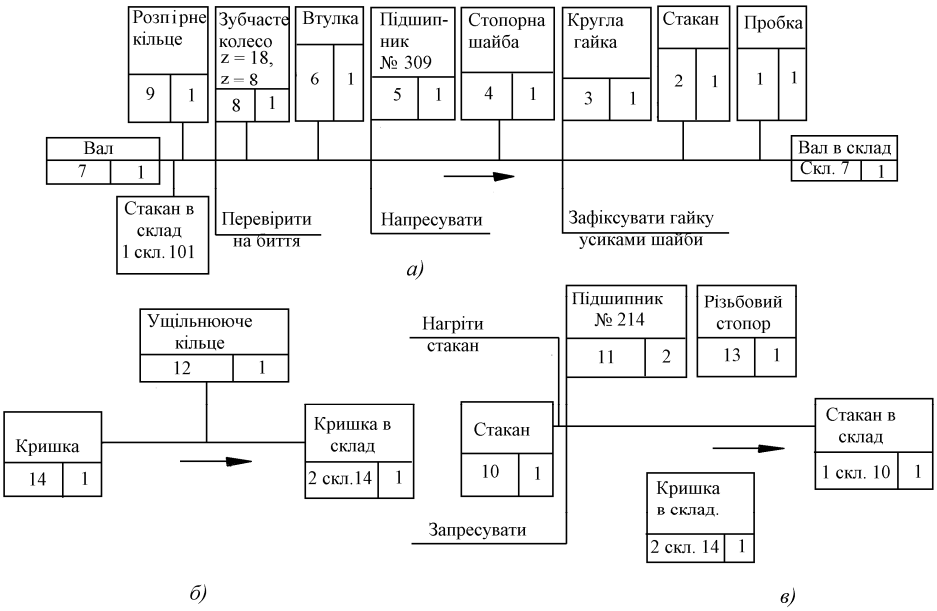


Рис 11.7. Технологічна схема складання муфти зчеплення: а – вузол муфти; б, в – підвузол муфти

Технологічні схеми складання одного й того ж виробу можуть бути розроблені в декількох варіантах з різною послідовністю. Оптимальний варіант вибирають з умови забезпечення заданої якості складання, економічності та продуктивності процесу при заданому масштабі випуску виробів.

Розробка технологічних схем доцільна при проектуванні складальних процесів для будь-якого типу виробництва. Технологічні схеми значно спрощують розробку складальних процесів і полегшують оцінку конструкції виробу з точки зору її технологічності.

11.7.2. Розробка маршрутної технології загального та повузлового складання

Послідовність технологічних та допоміжних операцій визначається на основі технологічної схеми складання виробу.

Зміст операцій встановлюють в залежності від типу виробництва і такту складання.

При масовому виробництві зміст операцій повинен бути таким, щоб її тривалість дорівнювала такту (трохи менша такту) чи кратна йому. Виконувана робота повинна бути за своїм характером однорідною і повинна відрізнятися певною закінченістю. Припасувальні роботи, випробовування та контроль відокремлюють в окремі

операції. Тривалість операції визначають укрупнено за нормативами з наступним уточненням та коректуванням. За цих умов середнє навантаження всіх робочих місць складальної лінії повинно бути достатньо високим (порядку 0,9–0,95) [12].

При серійному виробництві зміст операцій приймають таким, щоб на окремих робочих місцях виконуване повузлове та загальне складання даного та інших виробів періодично змінюваними партіями забезпечувала достатньо високе завантаження робочих місць. Для загального складання [18]:

$$[(T_{шт1}N_1 + T_{шт2}N_2 + \ldots + T_{штi}N_i) + (T_{п.з.1} + T_{п.з.2} + \ldots + T_{п.з.i})K] \cdot m \le Fg,$$

де $T_{шт1}, \ldots, T_{штi}$ – час загального складання першого, другого, …, і-го виробу;

$T_{п.з.1}, \ldots, T_{п.з.i}$ – підготовчо-заключний час для першого, другого, …, і-го виробу;

К – число партій на рік;

$F_д$ – дійсний річний фонд робочого часу;

$N_1 \ldots N_i$ – річна програма випуску першого, другого, …, і-го виробу;

m – число стендів загального складання;

і – число виробів, що складаються на даному стенді.

Якщо прийняти К = 12 (рівномірний випуск протягом року), то число стендів загального складання:

$$m = \frac{F_д}{\left[\left(T_{ШТ1}N_1 + \ldots + T_{Ш.Т.i}N_i\right) + \left(T_{п.з1} + \ldots + T_{п.зі}\right)K\right]}.$$

Знайдене значення m округлюють до найближчого більшого $m_{пр}$ і визначають коефіцієнт завантаження:

$$n_з = m/m_{пр}.$$

Якщо $n_З < 0,7$, то складальні стенди необхідно дозавантажити складанням інших подібних виробів, або зменшити кількість стендів, зменшити при цьому штучний час складання виробу за рахунок збільшення продуктивності складальних робіт [18].

При вузловому складанні число партій повинно бути не менше значення К, інакше порушиться комплектність подачі складових частин виробу на загальне складання. Число партій (а отже, і розмір) партій при вузловому складанні можна встановлювати із врахуванням найменшої собівартості виконання складання, або за директивними (плановими) строками їх випуску.

При розробці маршруту складання передбачають контрольні операції, їх місцеположення та зміст, а також допоміжні операції, такі як попереднє очищення деталей, регулювання, припасування, балансування та ін.

Складені машини (верстати, двигуни, компенсатори та ін.) після остаточного приймання фарбують на спеціально виділених ділянках цеху.

При розробці маршрутного процесу вибирають схеми базування виробів, тип складального обладнання, засоби механізації та автоматизації операцій, технологічне оснащення, засоби транспортування виробів в процесі складання, проводять нормування операцій, визначають потрібну кількість робочих місць, робітників складальників, розробляють циклограми складання. Всі ці питання розглядаються нижче.

11.7.3. Схеми базування виробів при вузловому та загальному складанні

Ці схеми вибирають із врахуванням забезпечення заданої точності складання, зручності його виконання складальниками, спрощення пристроїв, обладнання та транспортних засобів.

При виборі технологічних баз намагаються витримати принципи суміщення, постійності та послідовності зміни баз. В кожному окремому випадку може бути запропоновано декілька схем базування. При їх аналізі розраховують похибки установлення, перераховують розміри і допуски (при порушенні принципу суміщення баз), а також визначають допуски на розміри технологічних баз. Для зменшення числа варіантів схем базування необхідно за можливістю використовувати типові рішення.

Вибираючи бази, необхідно враховувати додаткові міркування: зручність встановлення та зняття складуваного виробу, надійність та зручність його закріплення, можливість підведення приєднуваних деталей і складальних інструментів з різних боків. За вибраними базами повинні бути сформульовані вимоги щодо точності та шорсткості поверхонь, що використовуються як бази [18].

11.7.4. Визначення типу складального обладнання, засобів механізації та автоматизації, оснащення та підйомно-транспортних засобів

Зміст операцій визначає тип, основні розміри і технічну характеристику складального обладнання, технологічного оснащення (пристроїв, робочого та вимірювального інструменту) і підйомно-транспортних засобів. Так, для складання з'єднань з натягом застосовують преси (ручні, пневматичні, механічні, гідравлічні в залежності від потрібних зусиль), для з'єднання деталей заклепками – стаціонарні чи переносні клепальні машини і скоби. Ці засоби призначають із врахуванням раніше визначених типу виробництва та організаційних форм складального процесу [8].

Пристрої, що застосовуються при складанні, за призначенням поділяються на види: для встановлення і з'єднання деталей; для кріплення базових деталей складальних одиниць; для знімання та піднімання деталей; для зміни положення виробу, який складається; для виконання особливо специфічних операцій, наприклад, для регулювання клапанів двигуна; контрольні пристрої; пристрої–кондуктори, що дають змогу поєднати складання з контролюванням взаємного положення деталей, які складаються; пристрої для випробовувань тощо [14].

При серійному виробництві технологічне обладнання та оснащення застосовують універсального, переналагоджувального типу. Їх розміри приймають за найбільшим прикріпленим за даним робочим місцем виробу. В масовому виробництві переважно застосовують спеціальні обладнання та оснащення.

При складанні виробів та їх складальних одиниць для полегшення праці та підвищення її продуктивності застосовують різні засоби механізації та автоматизації. Вибір цих засобів (пристроїв та обладнання) залежить від кількості виробів, які складаються, їх габаритних розмірів, потрібної точності розмірних і кінематичних

ланцюгів і прийнятих методів досягнення точності. Найбільшої продуктивності та точності досягають за допомогою різного механізованого інструменту, пристроїв і складальних автоматизованих верстатів.

Механізований інструмент з електричним, пневматичним і гідравлічними приводами відзначається універсальністю та порівняно невеликим габаритом. За принципом роботи цей інструмент поділяється на групи [14]:

1) ударної дії (клепальні та рубально-клепальні молотки, шабери, кернери, вібратори і трамбівки);

2) обертової дії (свердлильні дрелі, шліфувальні машинки, гайковерти, викрутки);

3) давлючої дії (ножиці, пристрої для згинання різних профілів і труб);

4) пістолети для фарбування, металізатори, дробометальні барабани, віброшліфувальне устаткування тощо.

Механізація та автоматизація, пов'язана з координуванням і закріпленням деталей, які складаються, і складальних одиниць, викликає найбільші труднощі через недостатність досягнення високої точності. Найменша похибка координування, яка виходить за межі допусків, може призвести до браку чи неможливості з'єднання деталей. Як правило, такі операції виконуються вручну або для них проектуються спеціальні пристрої. Ступінь механізації та автоматизації таких пристроїв визначається економічними міркуваннями.

Тип, основні розміри і вантажопідйомність підйомно-транспортних засобів визначають за встановленими організаційними формами складання, розмірній характеристиці виробів та їх масі. Як підйомно-транспотрне обладнання використовують мостові крани, електричні та гідравлічні підйомники з різною вантажопідйомністю та висотою підйому. Для транспортування деталей і вузлів застосовуються спеціальні візки, електрокари та рольганги. Для рухомого складання використовують конвеєри. Вони бувають стрічкові, візкові, карусельні та підвісні. Підвісні конвеєри найчастіше застосовуються при транспортуванні деталей і складальних одиниць до місця складання [14].

11.7.5. Технічний контроль якості складання

Похибки складання за характером їх прояву можуть бути випадковими, якщо їх виникнення обумовлене невизначеними, важковраховуваними причинами і періодичними, що залежать від причин, які піддаються обліку.

В свою чергу, випадкові та періодичні похибки можуть бути поділені, в залежності від характеру виявленого при складанні порушення технічних вимог, на похибки посадок (недотримання встановлених зазорів і натягів), похибки положення (перекоси, незбігання осей, биття тощо), похибки деформації (скривлення форми деталей при неправильному складанні), похибки якості сполучуваних поверхонь (подряпини, задирки тощо), похибки балансування (неврівноваженість, вібрація), похибки стану робочого місця (забруднення складуваного об'єкта абразивними залишками, ошурками тощо). Можливі й інші, менш розповсюджені види похибок

складання.

Контроль в складальних цехах здійснюється в процесі складання вузлів і виробів і після закінчення.

Основний контроль якості складання ведуть самі складальники. Більшість операцій, що контролюються виконавцями – робітниками, не потребує додаткової перевірки. Відповідність за якість виконання приймає на себе складальник.

Проте, є в технології такі операції, для перевірки якості виконання яких потрібен значний час і спеціальна апаратура. Сумістити виконання технологічних робіт і операцію контролю протягом регламентованого такту складальник в цьому випадку не може. Тоді контрольна операція виділяється як самостійна.

При загальному та повузловому складанні перевіряють [18].

1) наявність необхідних деталей у складених з'єднаннях (виконують оглядом);

2) правильність положення спряжених деталей і вузлів (виконують оглядом);

3) зазори в складених спряженнях (щупом);

4) точність взаємного положення спряжених деталей (на радіальне і осьове биття та ін., провадять в контрольних пристроях);

5) герметичність з'єднання (в спеціальних пристроях) і щільність прилягання поверхонь деталей на фарбу в процесі складання;

6) затяжку нарізних з'єднань, щільність та якість встановлення заклепок, щільність завальцьованих та інших з'єднань;

7) розміри, що задані в складальних кресленнях;

8) виконання спеціальних вимог (врівноваженості вузлів обертання, припасування по масі та статичному моменту);

9) виконання параметрів складених виробів та їх складових частин (продуктивності та величини напору насосів, точності ділильних механізмів, якості контакту в електричних з'єднаннях та ін.);

10) зовнішній вигляд складених виробів (відсутність пошкодження деталей, забруднень та інших дефектів, які можуть виникнути в процесі складання).

У функцію контролю входить також перевірка вказаної послідовності виконання складальних переходів (порядок затяжки нарізних з'єднань, послідовність накладання зварних швів та ін.) і перевірка обов'язкового виконання допоміжних операцій (промивання та очищення деталей, що з'єднуються, промивання трубопроводів та ін.).

На контрольні операції розробляють інструкційні карти, в яких детально вказують метод і послідовність контролю, а також засоби контролю, що використовуються.

При проектуванні технологічного процесу повузлового та загального складання потрібно передбачити робочі місця для контролерів на таких операціях. Такт роботи контролерів повинен бути підпорядкованим такту конвеєра. В тому випадку, коли час контролю значно менший такту конвеєра, один контролер суміщає декілька контрольних операцій.

В залежності від складності та відповідальності складуваного вузла контролю піддають всі складувані вузли або на вибір певну їх кількість (10, 15, 30 і 50 %). У великосерійному і масовому виробництві поширений вибірковий контроль, і лише на

найбільш відповідальних операціях контролю піддають всі об'єкти [18].

Основними методами контролю при складанні є зовнішній огляд, перевірка вимірювальними інструментами та пристроями і перевірка на основі суб'єктивного відчування.

При зовнішньому огляді встановлюється стан поверхонь деталей, відсутність штрихів, подряпин, забоїн, корозії, окалини, забрудненості тощо. Зовнішній огляд встановлює також відповідність номерів вузлів і виробу для згрупованих пар, наявність прокладок і шайб та їх цілість, правильність шплінтування гайок тощо. Зовнішнім оглядом перевіряється також форма і розміри контакту зубчастих пар, збігання штрихів на корпусі та підшипниках при усуненні радіального биття та ін.

Механізовані вимірювання проводять із застосуванням різноманітних вимірювальних засобів: кінцевих і штрихових мір довжини, щупів, штангенінструментів, мікрометричних інструментів, важільно-механічних, електричних і пневматичних приладів, а також різних спеціальних контрольних пристроїв. За допомогою вимірювальних інструментів і пристроїв контролюють різні зазори в з'єднаннях, проводять перевірку на биття, паралельність та перпендикулярність осей тощо. Основні способи геометричних перевірок, що проводяться при складанні вузлів і виробів, наведені на рис. 11.8 [8].

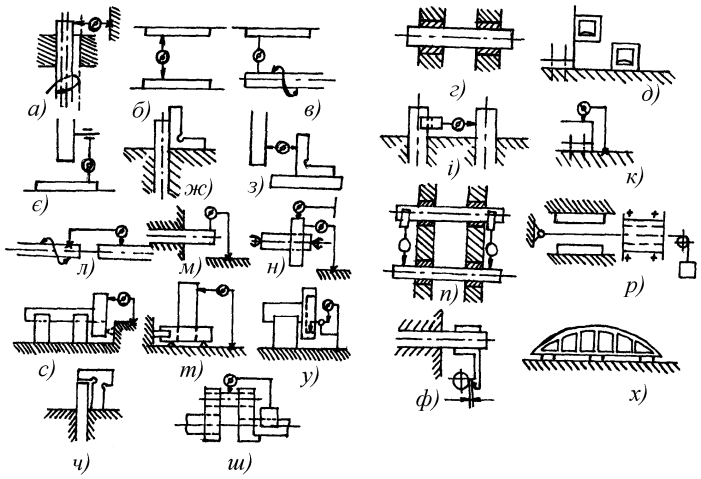


Рис. 11.8. Схеми перевірок, що проводяться при складанні: а – перевірка зазора; б, в, п – перевірка паралельності; є, ж, з, д, ф – перевірка перпендикулярності; г, л, р – перевірка співвісності; м ,н ,с, т, у – перевірка на биття; і, к, ч, ш, х – перевірка положення деталі у вузлі

Для забезпечення необхідної точності вимірювань необхідно, щоб контрольований вузол і приклад чи контрольний пристрій знаходилися в зручному для робітника положенні і базувались на жорсткі опори. З цією метою доцільно обладнувати контрольні пости плитами, підставками для вимірювального інструменту, засобами для закріплення вузлів, що перевіряються.

Номенклатура приладів і пристроїв, що застосовуються при механізованих вимірюваннях, достатньо широка. Особливо часто використовуються пристрої з індикаторами годинникового типу. Вибір необхідного типу контрольного пристрою залежить від потрібної точності та допустимої похибки вимірювання, при цьому остання характеризується різницею між показами контрольного пристрою і фактичним значенням контрольованого параметра. Відносна похибка вимірювання звичайно складає 15–20 % допуску контрольованого параметра.

Автоматизовані вимірювання широко здійснюються при розсортуванні деталей на розмірні групи, а також при використанні контрольно-складальних інструментів і пристроїв, які автоматично забезпечують створення певних зусиль, крутних моментів, тиску рідин і газів тощо.

До методів контролю, що базуються на суб'єктивних відчуттях, відноситься перевірка "на хитання", перевірка великих виливаних деталей на відсутність тріщин по звуку, перевірка роботи деяких механізмів "на шум", щільність посадки простукуванням на звук тощо. Зрозуміло, що точність цих методів надто мала, але технічний рівень виробництва вимірювальних засобів не дозволяє поки повністю відмовитись від суб'єктивних методів контролю.

11.7.6. Розробка операційної технології складання

Для проектування операції необхідно знати маршрутну технологію загального та повузлового складання, схему базування та закріплення виробу, намічений раніше зміст операцій, а також такт роботи, якщо операції проектують для потокової лінії.

Для формування операцій з переходів проводять нормування складальних робіт за нормативами на слюсарно-складальні роботи [9, 10]. Час контрольних операцій, а також час таких переходів, як обпилювання, промивання, сушіння, протирання чи змащування поверхонь деталей необхідно враховувати при нормуванні робіт на складання виробів.

При проектуванні операцій уточнюють їх зміст, встановлюють послідовність та можливість суміщення переходів в часі, остаточно вибирають обладнання, пристрої та інструменти (чи видають завдання на їх проектування), призначають режими роботи складального обладнання і механізованих інструментів (зусилля запресування, моменти і порядок затягування нарізних з'єднань, температуру нагрівання чи охолодження при використанні складання з тепловою дією, моменти при виконанні вальцювальних з'єднань та ін.), встановлюють схеми наладок і визначають настроювальні розміри для механізованих інструментів.

Проектуючи складальну операцію, прагнуть до зменшення штучного часу. Це дозволяє зменшити потрібну кількість обладнання та робітників. Штучний час скорочують зменшенням його складових та суміщенням часу виконання декількох технологічних переходів. Основний час знижують підвищенням швидкості робочих рухів, а допоміжний – зменшенням часу допоміжних ходів, раціональною побудовою процесу складання та використанням швидкодіючих пристроїв. В декілька разів можна підвищити продуктивність складання, якщо при побудові операції

застосовувати багатомісні, багатоінструментальні та паралельні схеми складання замість одномісних, одноінструментальних та послідовних [18].

Проектування складальної операції – задача багатоваріантна. Варіанти оцінюють за продуктивністю та собівартістю.

При потоковому складанні штучний час на операцію треба ув'язати з тактом роботи потокової лінії. При вирівнюванні штучного часу операцій по такту чи забезпечені кратності штучного часу такту допустиме збільшення (до 3 %) чи зменшення (до 10 %) тривалості окремих операцій у порівнянні з тактом [18]. Вирівнювання штучного часу по такту ілюструється графіком, показаним на рис. 11.9.

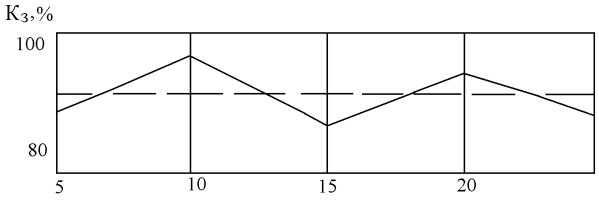


Рис. 11.9. Графік завантаження робочих місць

Після вирівнювання тривалості операцій розробляють циклограму складання та визначають кількість робочих місць і кількість складальників. Приклад оформлення циклограми наведений на рис. 11.10. Одночасно уточнюють порядок складання виробу та його складальних одиниць, а також тип складального обладнання і технологічного оснащення, транспортних засобів. При побудові циклограм складання необхідно прагнути до скорочення виробничого циклу шляхом суміщення в часі тих складальних операцій, які можна виконувати незалежно одна від одної (наприклад, операції 5 і 10, 15 і 20 на рис. 11.10), чи застосування високопродуктивного складального обладнання і оснащення, оскільки скорочення виробничого циклу є одним з основних заходів, що сприяє зниженню витрат, які вкладаються у виробництво.

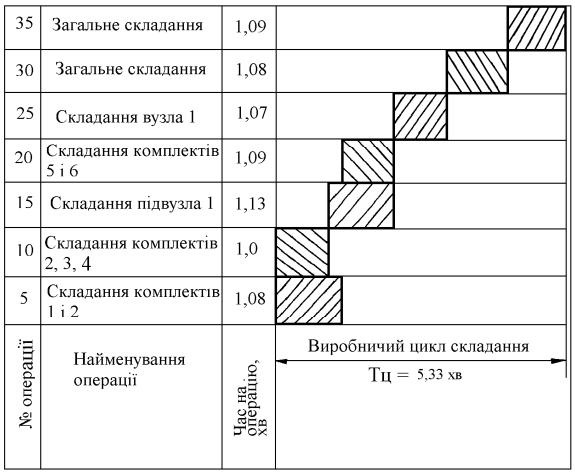


Рис. 11.10. Циклограма складання (приклад)

На завершальному етапі проектування технологічних операцій складання розробляють технологічне планування дільниці цеху.

На складальній дільниці повинні розміщуватись [21]:

а) стенди для загального складання виробу чи складальних одиниць та їх випробовувань;

б) верстаки чи стенди для повузлового складання, верстати для випробовування складальних одиниць перед передачею їх на загальне складання, верстаки і обладнання для виконання підготовчих робіт, винесених з повузлового та загального складання;

в) тара і стелажі для збереження та розміщення комплектуючих деталей і складальних одиниць, що очікують складання;

г) засоби технологічного оснащення для виконання з'єднань та інших робіт;

д) місцеві підйомно-транспортні засоби для обслуговування складальної дільниці тощо.

При розробці планування повинне бути забезпечене виконання вимог охорони праці на складальній дільниці, зручність виконання робіт при раціональних затратах часу складальників на переміщення, транспортування та передачу об'єкта складання на інші операції.

11.7.7. Нормування технологічних процесів складання

Нормування технологічних процесів складання відбувається одночасно з розробкою маршрутного та операційного технологічного процесів після попереднього визначення структури та змісту операцій.

При нормуванні визначають норми часу по переходах і на операцію, професію та кваліфікацію складальників. Розцінки визначають за тарифною ставкою, що встановлена для кожного розряду. Потім підраховують затрати часу на складання кожної складальної одиниці та трудомісткість всього складання.

Для серійного виробництва при нормуванні використовують укрупнені нормативи, для масового розрахунково-аналітичний метод нормування.

Штучний час на складальну операцію масового виробництва розраховують за формулою [21]:

$$T_{шп} = \left(T_о + T_д\right)\left(1 + \frac{A_{обс} + A_{відп}}{100}\right)K_1,$$

де $T_о$ – основний технологічний час, хв;

$T_д$ – допоміжний час, хв;

$A_{обс}$ – час на обслуговування робочого місця у відсотках від оперативного часу ($T_о + T_д$), хв;

$A_{відп}$ – час на відпочинок і особисті потреби у відсотках від оперативного часу, хв;

K_1 – поправковий коефіцієнт на оперативний час, що враховує число заходів, виконуваних складальником.

Час обслуговування робочого місця встановлюють в залежності від виду складальних робіт в розмірі 2...6 % від оперативного часу, а час на перерви для відпочинку і задоволення природних потреб приймають в розмірі 4...6 % від оперативного часу. При конвеєрному складанні рекомендується встановлювати перерву на 10 хвилин через кожну 1 годину 40 хвилин роботи [21].

Приклад нормування складання кронштейна з кришкою (СО.5, рис. 11.11) за нормативами наведений в табл. 11.3 [21].

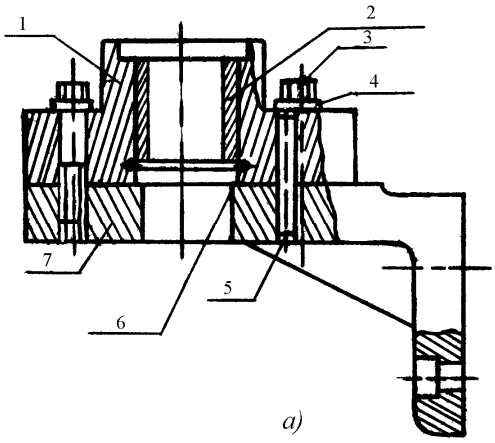
Таблиця 11.3

Приклад нормування складання кронштейна з кришкою (СО.5 за рис. 11.11). Загальна маса кронштейна – 1,4 кг; число деталей – 18; тип виробництва – масовий

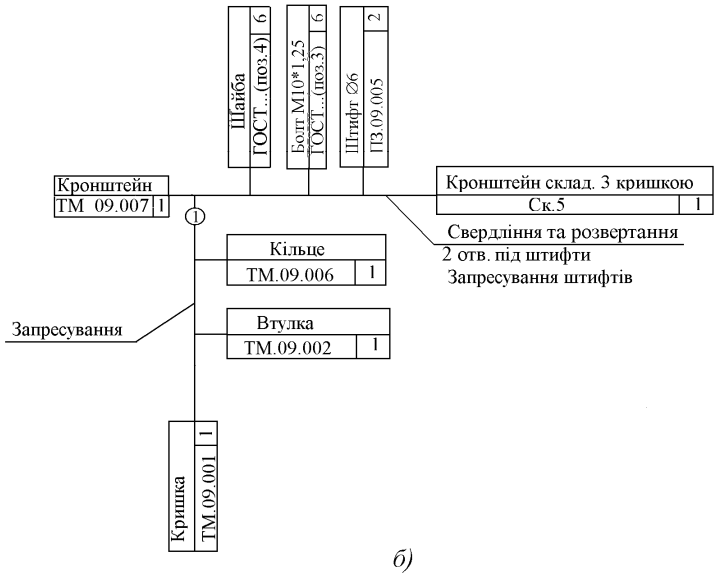
№ робочої позиції і склад роботи	Фактори	№ карти і позиція [9]	Оперативний час $T_{оп}$, хв
1	2	3	4
1. Взяти кришку (скл. 1), встановити кронштейн, сполучити отвори кришки з кронштейном	Маса кришки (0,3 кг) Діаметр кришки (140 мм) Число отворів (шість)	К. 46, п. 17	0,037
2. Взяти шість шайб, надіти на болти	Тип шайби (проста) Діаметр шайби (10,5 мм) Довжина просування (15 мм)	К. 57, п. 2	0,114× (0,019×6)
3. Взяти шість болтів з шайбами і вставити їх в отвори кришки	Число та розмір болтів (болт М10×1,25) Довжина просування (30 мм)	К. 56, п. 1	0,114× (0,024×6)
4. Взяти шість болтів і навернути на 2–3 нитки вручну	Число та розмір болтів (болт М10×1,25)	К. 63, п. 1	0,354× (0,059×6)
5. Підтягнути пневмогайковерт до місця кріплення кришки з кронштейном, включити його	Довжина просування	К. 14, п. 5	0,023
6. Завернути остаточно шість болтів електрогайковертом	Число та розмір болтів (болт М10×1,25) Довжина завертання (8 мм)	К. 65, п. 2	0,126× (0,021×6)

Закінчення табл. 11.3

1	2	3	4
7. Включити електрогайковерт і перевести у вихідне положення	Довжина переміщення (1 м)	К. 14, п. 6	0,016
8. Свердлити і розвернути два отвори	Діаметр свердла (5,8 мм) Діаметр розвертки (6 мм) Довжина отвору (10 мм)	К. 41, п. 2, п. 17 К. 41, п. 4, п.17	0,75× (0,3 + 0,15×3)
9. Запресувати два штифти вручну	Діаметр штифта (6 мм)	К. 62, п. 6 Всього	0,216× (0,108×2) 1,78 *хв* $A_{обс}$ = 4 %
10 Організаційно-технічне обслуговування робочого місця $A_{обс}$	Складальний стенд (6 мм) Робота виконується механізованим інструментом	К. 1, п. 2	
11. Відпочинок та особисті потреби Поправковий коефіцієнт на умови виконання роботи K_2	Вагообіг за зміну до 1 т	К. 4, п. 1 К. 7	$A_{відп}$ = 9 %×(6 % + 1 % + 2 %) K_2 = 1
12. Поправковий коефіцієнт на число прийомів, які виконуються одним робітником К	Число прийомів	К. 5, п. 3	К=1,05



а)



б)

Рис. 11.11. (а) Складальна одиниця (кронштейн з кришкою) та (б) – схема складання кронштейна

Норма часу по цьому прикладу:

$$T_{ШТ} = \sum T_{оп}\left(1+\frac{A_{обс}+A_{відп}}{100}\right)KK_2 = 1{,}78\cdot(1+\frac{4+9}{100})\cdot 1\cdot 1{,}5 = 2{,}11 \text{ хв.}$$

При складанні виробів партіями за допомогою нормативів повинні бути враховані затрати часу $T_{п.з}$ на підготовку складальних робіт для даної партії. В цьому випадку складання ведуть за принципами серійного виробництва, тобто на одному

робочому місці періодично складають різні вироби чи складальні одиниці по типу потокового чи стаціонарного (при малому випуску виробів) складання.

При складанні виробів партіями визначають штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт\text{-}к} = T_{шт} + T_{п\text{-}з},$$

де n – розмір партії.

При потоковому складанні до складу $T_{шт}$ включають $T_п$ на переміщення виробу, що складається (на конвеєрі, що рухається періодично), і на повернення робітника у вихідну позицію на конвеєрі, що рухається безперервно). Якщо $T_п$ перекривається іншими елементами $T_{шт}$, то цей час не враховується.

Розрахований штучний час на операцію $T_{шт}$ чи $T_{шт\text{-}к}$ заносять в технологічну карту. За необхідності до технологічних карт складання в пояснювальній записці прикладають технологічні ескізи на окремі операції.

Підсумовуючи трудомісткість окремих операцій, визначають трудомісткість $T_{ск}$ складання всього виробу чи складальної одиниці, число необхідних місць чи позицій g і потоків γ, необхідних для складання однакових виробів:

$$T_{ск} = \sum_{i=1}^{m} T_{шт} \cdot K_t ,$$

де m – число операцій, необхідних для складання виробу чи складальної одиниці.

Число основних робітників визначають за формулою:

$$R_{ск} = \frac{T_{ск} N}{60 F_{д.р} K_{вн}} ,$$

де $F_{д.р}$ – дійсний річний фонд часу робітників, год;

$K_{вн}$– коефіцієнт перевиконання норми виробітку.

Число допоміжних робітників беруть рівним 20...40 % від основних, тобто $R_д = (0{,}2...0{,}4)R_{ск}$. Більший відсоток в малих цехах [21].

При непотоковому стаціонарному складанні з биттям робіт число робочих позицій чи місць для паралельного складання однакових об’єктів визначають за формулою:

$$q_1 = (T_{ск} - T_c)/T_т,$$

де $T_{ск}$ і T_c – відповідно розрахункова трудомісткість всіх переходів складання одного об’єкта і переходів, виконання яких суміщено в часі з виконанням складання інших об’єктів, хв;

$T_т$ – темп складання.

При непотоковому рухомому складанні число робочих позицій чи місць дорівнює:

$$q_2 = (T_{ск} + T_c)/[(T_т - t_n)\gamma_2],$$

де t_n – час на переміщення об`єкта з однієї робочої позиції на іншу (наступну), хв;

γ_2 – число паралельних потоків.

Якщо до визначення числа потоків підходити тільки виходячи із співвідношення часу найбільш тривалої операції T_{on}^{max} (без врахування трудомісткості виконання суміщення переходів) і такту випуску, то число потоків

$$\eta = \left(T_{on}^{max} + tn\right)/ T_т .$$

Але якщо найбільш довготривала операція істотно відрізняється за часом від всіх інших, то потрібно сумістити операції з тим, щоб в необхідній мірі завантажити роботою складальників на всіх операціях. Оскільки суміщення операцій на одному робочому місці не завжди можливе і зручне, іноді буває доцільно встановлювати число потоків, виходячи з тривалості більшості операцій, а для виконання більш тривалих операцій створювати в кожному з потоків дільниці багатопотокового складання (групові потокові лінії).

При потоковому стаціонарному складанні число робітників (чи бригад) одного потоку:

$$q_3 = (T_{ск} - T_c)/[(T_т - t'p)\gamma_3],$$

де t′p – час переходу робітника (бригади) від одного до іншого об'єкта, що складаються, хв;

$T_т$ – такт випуску виробів;

$\gamma_3 = \left(T_{on}^{max} + t'p\right)/ T_т$ – число паралельних потоків.

При потоковому рухомому складанні число робочих позицій підраховують за формулами:

– при складанні з безперервним рухом об'єкта, що складається:

$$q_4 = (T_{ск} - T_c)/[(T_т - t'p)\gamma_4];$$

– при складанні з періодичним рухом об'єкта, що складається:

$$q_5 = (T_{ск} - T_c)/[(T_т - tn)\gamma_5],$$

де t′p– час, необхідний робітнику для повернення у вихідне положення після виконання операції;

$\gamma_4 = \left(T_{on}^{max} + t''p\right)/ T_T$ – число паралельних потоків.

11.8. Оснащення технологічного процесу складання

11.8.1. Механізований складальний інструмент. Слюсарний інструмент

При складанні машин застосовують механізований інструмент з електричним, пневматичним і гідравлічним приводами.

Найбільш поширені інструменти з пневматичним та електричним приводами. ККД механізованого інструмента з пневматичним приводом 7–11 % і з електричним 50–60 %. За зручністю користування вони рівноцінні, але електроінструмент більш безшумний у роботі. Експлуатаційні затрати при використанні електроінструмента нижчі у порівнянні з пневматичним. Маса пневматичного інструмента менша, він може витримувати тривалі перевантаження, що недопустимо для електроінструмента. Гідравлічний інструмент відрізняється значно меншою масою завдяки високому (до 8 МПа) тиску робочої рідини, а також відносною безшумністю в роботі. В гідравлічних інструментах застосовують ротаційні лопастні, поршневі та гвинтові приводи з тиском робочої рідини до 8 МПа, у пневматичних інструментах ротаційні лопастні, турбінні та поршневі приводи, які живляться тиском повітря 0,5

МПа. Електроінструменти мають двигуни змінного струму колекторні чи асинхронні, що живляться струмом нормальної (50 Гц) чи підвищеної (180–200 Гц) частоти, який одержують від спеціальних перетворювачів. Найбільш поширені вмонтовані електродвигуни з короткозакнутим ротором трифазного струму напругою 36 В і частотою 180–200 Гц.

Для припасувальних робіт використовують інструмент:

1. Свердлильні машини (табл. 1,2 [18] т.2 с. 323) використовують для свердління отворів діаметром 3–32 мм. Ці машини виконані з електричним і пневматичним приводом. Свердління отворів малого діаметра (1,5–3 мм) доцільно виконувати пневматичними машинами турбінного типу з частотою обертання шпинделя до 30000 об/хв. На передньому кінці шпинделя передбачено цангу для закріплення інструмента.

2. Шліфувальні машини (таблиця 3,4 [18] т. 2 с. 324) використовують для зачищення зварених швів, чавунних і сталевих відливок, зняття заусениць, шліфування та полірування різних поверхонь. Їх виготовляють з електро- і пневмоприводом, прямим і кутовим. Для роботи у важкодоступних місцях застосовують машини з гнучким валом.

3. Ножиці застосовують для прямолінійного і фасонного розрізання листової сталі і сплавів кольорових металів. Максимальна товщина листа сталі середньої твердості – до 2,5 мм. Випускають ножові, вирубні, дискові та важільні ножиці.

Розрізання металу ножовими ножицями виконується переміщенням верхнього рухомого ножа відносно нижнього нерухомого, закріпленого на скобі. Зворотно-поступальний рух рухомий ніж здійснює від повзуна за рахунок ексцентрика.

Різальними елементами вирубних ножиць є пуансон і матриця. Такі ножиці дозволяють різати метал за більш складним контуром і вирізати фігурні отвори в середині листа.

Процес різання дисковими ножицями полягає в тому, що обертаючий з великою швидкістю сталевий диск розплавляє або розрізає матеріал і своїм обертанням викидає його з канавки, залишаючи кромку різання рівною та чистою.

Технічні характеристики ножиць наведені в (таблиці 5,6 [18] т.2 с. 326.)

4. Пневматичні рубальні молотки ИП-4119 використовують для розрубування та чеканення металу, доведення відливок, клепання заклепок та інших робіт. Технічні характеристики молотка: енергія поодинокого удару – 12,5 Дж; частота ударів – 38 Гц; витрати стиснутого повітря – 1,6 $м^3$/хв, тиск – 0,5 МПа; довжина без інструмента – 490 мм; маса – 6 Кг.

5. Нарізко-нарізна пневматична машина ИП-3403А призначена для нарізання різей. Вона має ліві та праві оберти. Технічна характеристика машини: діаметр різі, що нарізається, – до 12 мм; крутний момент – 47 Н·м; частота обертання шпинделя при правому обертанні – 360 об/хв, при лівому – 660 об/хв; потужність двигуна – 0,4 кВт; витрати стиснутого повітря – 1 $м^3$/хв; тиск повітря – 0,5 М на габаритні розміри 260×60×180; маса – 2,5 Кг.

Для складання нарізних з'єднань застосовують такий інструмент: – ручні одношпиндельні нарізко-закручуючі машини (шпилько- і гвинтоверти). Їх

випускають з пневматичним ротаційним та електричним високочастотним двигунами і з однофазними колекторними двигунами нормальної частоти.

За принципом роботи їх поділяють на машини обертальної дії, частоударні та рідкоударні. Ударні гайковерти виконують у вигляді ручних машин (таблиця 7,8 [18] т. 2 с. 327). Вони мають високу продуктивність, потребують меншої потужності у порівнянні з гайковертами обертальної дії та більш легкі. Реактивний момент в процесі роботи ударних гайковертів практично відсутній. Це дозволяє використовувати їх при значних моментах затяжки.

Термін служби ударних гайковертів менший ніж у гайковертів обертальної дії, рівень шуму і вібрації вищий.

Рідкоударні гайковерти (таблиця 9, [18] т. 2 с. 327) мають меншу на 20–40 % масу у порівнянні з частоударними, мають більш високий (в 2–5 разів) ККД, для них потрібні двигуни меншої потужності (на 15–35 %).

Частоударні гайковерти роблять 16–40 ударів за секунду, рідкоударні – до трьох ударів за секунду.

Процес затяжки частоударними гайковертами виконується за 110–200 ударів, рідкоударними – за 4–15 ударів енергією великого удару постійної величини. Енергія частоударних гайковертів змінюється від удару, у рідкоударних залишається постійною за величиною, що дозволяє вести складання відповідних нарізних з'єднань.

Для складання різей М3–М8 застосовують гвинтоверти. Електричні гвинтоверти (таблиця 10 [18] т. 2, с. 328) виконані з ручками пістолетного типу, пневматичні ВП-02 і ВП-08 (таблиця 11 [18] т. 2, с. 328) мають циліндричну форму. Для підвішування їх на робочому місці на корпусі є скоби. Гвинтоверт ВП-2 виконаний з ручкою пістолетного типу.

Багатошпиндельні гайковерти компонують з нормалізованих нарізокозакручуючих головок, наділених вмонтованими пневматичними, електричними чи гідравлічними двигунами.

Технічні характеристики силових головок для багатошпиндельних гайковертів наведені (в таблиці 12,14 [18] т. 2 с. 329-330).

На основі силових головок створено багатошпиндельні гайковерти серії ЕГ з електричним приводом і серії ГП з пневматичним приводом.

Затяжку шпильок багатошпиндельними блоками виконують за допомогою силових головок. Силові головки багатошпиндельних гайковертів для утримання гайок і гвинтів при загвинчуванні оснащені головками, шпильковерти – патронами.

Технічні характеристики патронів наведені в (таблиці 15-17 [18] т.2 с. 331).

Для складання клепаних з'єднань в машинобудуванні застосовують клепальні молотки, ручні пневматичні преси, гідравлічне та пневмогідравлічне устаткування. При клепанні молотками заклепка з боку, протилежного до удару, має впиратись в масивну підставку чи у підтримач.

У бугельних молотків роль підтримача виконує скоба-бугель, що приєднана до створу молотка.

Технічні характеристики пневматичних клепальних молотків наведені в (таблиці 19 [18] т.2 с. 322).

11.8.2. Пристрої, що застосовуються при складанні

В залежності від можливих масштабів використання складальні пристрої можуть бути поділені на універсальні та спеціальні. Перші, на відміну від других, можуть бути застосовані на будь-якій операції, яка відповідає функціям, що виконує даний пристрій чи інструмент.

Універсальні пристрої застосовують в складальних процесах у дрібносерійному і одиничному виробництвах. У великосерийному і особливо у масовому виробництві вони мають порівняно невелике поширення.

Спеціальні пристрої, як правило, проектують для виконання певної операції з конкретним об'єктом складання і тому можуть бути використані лише на тому вузлі і тій операції, для яких вони призначені.

За типом приводу складальні пристрої поділяються на механічні, гідравлічні, пневмогідравлічні. Тип приводу вибирають на основі техніко-економічного розрахунку.

В залежності від призначення пристрої можна поділити на такі основні групи:

а) *пристрої-затискачі*, які служать для закріплення виробів, вузлів чи деталей, що складаються, в потрібному для складання положенні, а також для надання стійкості вузлу, що складається, і полегшення його складання. До пристроїв-затискачів висуваються такі основні вимоги: кріплення деталі чи вузла в пристрої повинно бути достатньо надійним і міцним; затискання повинно здійснюватись небагатьма і найпростішими прийомами і якомога швидше; закріплення не повинно деформувати деталі (вузли) чи викликати пошкодження їх поверхонь; за необхідності точного встановлення деталей (вузла) затискачі не повинні зміщувати їх під час закріплення; на рис. 11.12 вузол, що складається, затискають у пневматичних лещатах, базами служать циліндричні фланці, що опираються на призму;

б) *установчі пристрої*, призначені для правильного і точного встановлення з'єднуваних деталей чи вузлів один відносно одного, що гарантує одержання потрібних монтажних розмірів. Приклад такого пристрою наведений на рис. 11.13. В цьому пристрої корпус вузла центрують по бурту підставки 1, а підшипник, що запресовується, – по оправці 2, яка за допомогою штиря 3 центрується відносно підставки, внаслідок чого забезпечується точне встановлення обох деталей при запресуванні;

в) *робочі пристрої,* що використовуються при виконанні окремих операцій технологічного процесу складання, наприклад, вальцювання, запресовування, встановлення та зняття пружин тощо. На рис. 11.14 показаний робочий пневматичний пристрій, призначений для запресовування втулки в корпус вузла. Пристрій встановлюють на корпус, базуючи його на оброблені отвори;

г) *контрольні пристрої*, виготовлені згідно з конфігурацією, формою, розмірами та іншими особливостями спряжень, вузлів та виробів, що перевіряються, для контролю конструктивних параметрів, що одержуються в процесі складання.

Контрольний пристрій (рис. 11.15) призначений для перевірки просідання гільзи циліндра. В даному випадку вимірювальними засобами є індикатори.

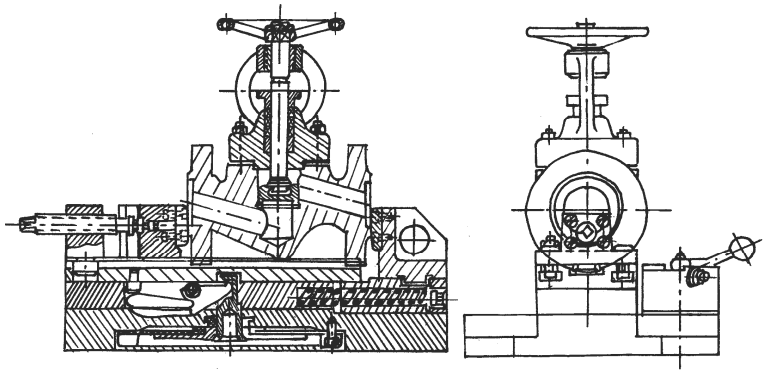


Рис. 11.12. Пристосування для закріплення корпуса вентиля при складанні (пристосування – затискач)

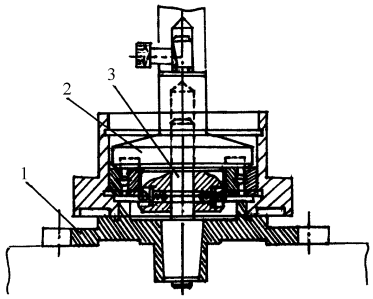


Рис. 11.13. Пристосування для запресовування точних підшипників (установочне пристосування)

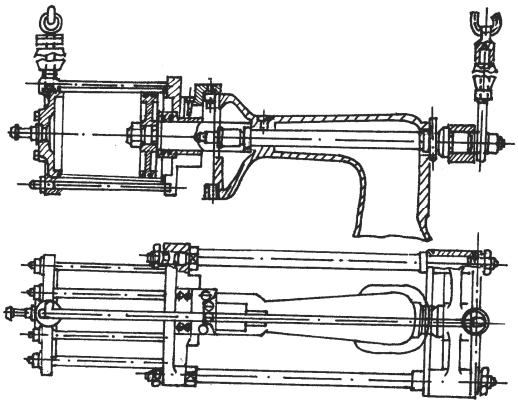


Рис. 11.14. Переносочне пневматичне пристосування (робоче)

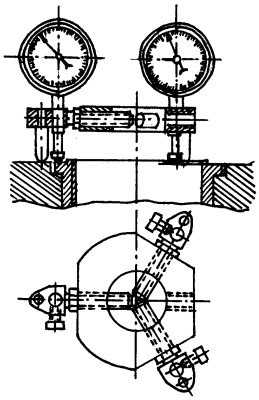


Рис. 11.15. Контрольне пристосування

Основні вимоги, що ставляться до будь-якого складального пристою, полягають в тому, щоб його конструкція забезпечувала: точність встановлення деталей чи вузла, зручність розташування виробу, що складається, і простоту його закріплення, можливість легкого зняття складеного вузла (виробу) після складання, безпеку в роботі.

Велике значення для точності складання має відомий принцип визначеності базування деталей в пристрої. Визначеність характеризується таким відносним положенням деталей при складанні, при якому процес з'єднання здійснюється у повній відповідності з технологією та досягається висока якість складання, обумовлена технічними вимогами. При з'єднанні, наприклад, валика і втулки спряження можливе лише у випадку визначеності базування обох деталей, при якому зміщення Е (рис. 11.16, *а*) осей не перевищує найменшої величини зазору плюс подвоєна величина фаски валика. Виконати таку умову за схемою, що показана на рис. 11.16, *а*, дуже важко, оскільки втулка, не обмежена зв'язками в площині опорної

плити, може займати багато положень. Неточність обробки торця втулки також може бути причиною нескладуваності через похибки відносного повороту осей деталей (рис. 11.16, *б*). Таким чином, в обох випадках має місце невизначеність базування. Цей недолік усунений на схемі, показаній на рис. 11.16, *в*, де обидві деталі базуються по поверхнях спряження, що створює найбільш сприятливі умови для досягнення потрібної точності [8]).

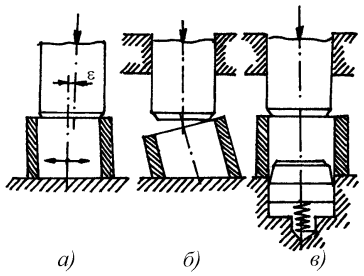


Рис. 11.16. Схеми з'єднань валика і втулки при різних способах базування

Складання великих вузлів-конструкцій, а в ряді випадків і загальне складання виробів здійснюється в пристроях, які називаються *стапелями.* Ці пристрої широко застосовують в літако- та суднобудуванні. Такі вузли і агрегати літака як, фюзеляж, крила, елементи хвостового оперення тощо мають значні розміри і складну конфігурацію, але вони недостатньо жорсткі. У зв'язку з цим при складанні таких елементів деталі їх закріплюють в масивних каркасах-стендах, на яких і проводять всі необхідні припасувальні і складальні операції. Завдяки збереженню постійності складальних баз в самих стапелях забезпечується збігання і єдність баз складуваних вузлів і в результаті точне стикування їх між собою при загальному складанні.

Розрізняють дороблювальні і власно складальні стапелі. Перші призначені для виконання механічної доробки стикових поверхонь та інших елементів агрегатів і вузлів, другі – для виконання всіх підготовчих операцій і складання вузлів (із застосуванням клепання, кріплення на болтах тощо).

Як відомо, проектування, виготовлення та налагодження оснащення і засобів механізації часто складає 75–80 % трудомісткості підготовки виробництва при запуску у виробництво нового виробу. Це положення повністю відноситься і до складального оснащення. Тому скорочення строків, затрат праці і коштів на запуск нових машин у виробництві вимагає більш прогресивної організації підготовки виробництва і, перш за все, широкого впровадження нормалізованого складального оснащення, придатного для багатократного використання.

Використання типового нормалізованого складального оснащення при підготовці виробництва нового виробу дозволяє приблизно у два рази зменшити обсяг проектних робіт і набагато скоротити строки їх виконання, а також знизити затрати коштів на 40–50 % і металу на 60–70 % у зв'язку з можливістю повторного використання ряду нормалізованих елементів і виготовлення їх партіями. З

універсальних пристроїв для закріплення найбільш поширене застосування лещат та струбцин. Універсальність лещат підвищують застосуванням спеціальних налагоджень.

Основними факторами, що впливають на вибір схеми і конструкції пристрою, а також визначають ефективність його використання в технологічному процесі складання виробу, є виробниче завдання (програма випуску), потрібна точність та послідовність складання. Розглянемо коротко значення кожного з цих факторів.

Виробнича програма. Від розміру програми залежить, чи потрібно застосовувати пристрій, чи доцільно обійтися без нього і наскільки складною може бути конструкція цього пристрою. При невеликій програмі складального цеху проектувати дорогий пристрій, звичайно, недоцільно. Якщо ж програма велика, то навіть значні затрати на виготовлення пристрою порівняно швидко виправдаються. Звичайно, прагнення конструктора і в цьому випадку повинно бути спрямоване на створення якомога більш простого і недорогого пристрою.

Таким чином, механізація складання знаходиться у прямій залежності від кількості виробів, що складаються. Вартість виготовлення, обслуговування та ремонту пристрою має бути узгоджена з отримуваною від нього економією. Тому в першу чергу у виробництво мають бути введені ті пристрої, які, безумовно, необхідні для забезпечення потрібної якості продукції.

Проте, при виборі типу пристрою поряд з економічними вимогами необхідно враховувати також вимоги, щодо строків виконання завдання та створення для робітника кращих умов праці у відношенні зручності, легкості та безпеки.

Точність складання. До початку проектування пристрою необхідно дуже ретельно ознайомитись з посадками, точністю складання та умовами взаємозамінності деталей вузла, що складається. Це має вирішальне значення при встановленні схеми і конструкції пристрою.

Схема пристрою має бути такою, щоб процес складання спряжень, безумовно, забезпечував потрібну якість, навіть якщо характер допусків спряжених деталей не завжди гарантує це.

Послідовність складання. Проектуючи пристрої, враховують, що складання здійснюється в певній послідовності, причому операції, для яких створюють пристрої, повинні виконуватись з найбільш зручним встановленням і зняттям вузла чи деталі, що складаються. Тому конструювання складального пристрою повинно передувати розробці технології. Пристрій конструюють для певної операції, при цьому враховується характер попередніх і наступних складальних робіт. Це, в свою чергу, дає можливість правильно вибрати бази, конструкцію основних елементів тощо.

Наприклад, якщо з плану складання відомо, що втулка, яка запресовується, у подальших операціях не розвертається, то це висуває додаткові вимоги до операції запресування. Якщо після складальної операції не передбачено контроль, то ця обставина також має бути врахована у схемі та конструкції пристрою. Очевидно, останнє повинно виключати чи зводити до мінімуму можливість появи при складанні вузла яких-небудь випадкових похибок.

Таким чином, задача, що стоїть перед конструктором, зводиться до створення пристрою, який був би продуктивним, надійним і точним в роботі, зручним і безпечним в обслуговуванні та найбільш економічним у виробництві.

Порядок проектування пристрою звичайно приймають наступний:

1. За складальним кресленням вузла встановлюють базові поверхні, які можуть бути використані для кріплення чи фіксації вузла у пристрої при виконанні даної операції.

2. Визначають орієнтовно сили, які будуть діяти на пристрій в процесі його використання.

3. Розробляють принципову схему пристрою, дуже важливо при цьому виходити з принципу будь-якої економії рухів складальника при користуванні цим пристроєм.

4. Розробляють конструктивну схему пристрою (ескізне компонування) і шляхом розрахунку на міцність визначають розміри основних деталей його.

5. Остаточно оформляють конструкцію пристрою

6. Проводять розрахунки пристрою на економічність.

7. Складають робочі креслення і видають їх у виробництво.

Досвідом встановлено, що технічна досконаліть пристроїв та інструментів є одним з основних факторів, що обумовлюють ефективність процесу складання машин. За допомогою спеціально сконструйованих пристроїв та інструментів (звичайно, при правильно розробленому технологічному процесі) навіть малокваліфікований робітник дає на складанні виробів цілком задовільні результати.

Деякі особливості проектування складальних пристроїв та приклади конструкцій наведені в [2].

11.8.3. Обладнання складальних цехів

Обладнання складальних цехів умовно може бути поділене на дві групи: *технологічне,* призначене безпосередньо для виконання робіт по виконанню рухомих чи нерухомих спряжень деталей, їх регулюванню та контролю в процесі повузлового та загального складання, і *допоміжне,* призначення якого – механізувати всі види допоміжних робіт, обсяг яких при складанні виробів надто великий.

Нижче коротко розглянемо допоміжне обладнання.

Технічна характеристика необхідного для складальних робіт підйомно-транспортного обладнання залежить від типу і масштабу виробництва, виду організації процесу складання, конструктивних і технологічних даних виробів, що складаються. Основні види підйомно-транспортних засобів, що застосовуються в складальних цехах, наведені на рис. 11.17.

Значну частку трудомісткості складальних робіт складають затрати часу на горизонтальне переміщення об’єктів складання. Ці переміщення можуть виконуватись вручну і механізованим способом. При ручному переміщенні виробів, що складаються, застосовують рольганги, рейкові та безрейкові шляхи з візками, а при механічному переміщенні – конвеєри.



Примітка: Наведені на схемі підйомні та підйомно-транспортні засоби, за виключенням деяких видів електричних і пневматичних підйомників, а також легких поворотних і напольних кранів, в основному використовують при стаціонарному складанні, підйомники і крани – при стаціонарному і рухомому складанні, а транспортні засоби призначені головним чином для рухомого складання машин.

Рис. 11.17. Основні види підйомно-транспортних засобів, що застосовуються в складальних цехах

Рольганги. Найбільш поширені при складанні різновиди рольганг показані на рис. 11.18. Вузли чи вироби, що складаються, або опираються на роликову поверхню рольганг безпосередньо, або встановлюють на дерев'яні чи металеві піддони відповідної форми. На рис. 11.19 показано план ділянки складання на рольгангу. Швидкість переміщення виробів на рольгангах до – 20 м/хв.

Горизонтальні рольганги встановлюють у складальному цеху на висоті H = 0,6–0,8 м від підлоги, нахилені рольганги – з нахилом 2–4° в бік руху вантажу. Радіус заокруглення підковоподібного чи замкненого рольганга роблять не менше 2,5–3,5B, де B – ширина рольганга від (200 до 1200 мм) в залежності від габаритів виробу чи піддона що переміщується. В місці проходу рольганг має відкидну секцію, а для подачі та зняття складених виробів передбачають поворотні чи підйомні секції.

Ролики складальних рольганг обертаються в підшипниках кочення. Діаметр ролика при максимальному навантажені на нього до 600 кг – 73 мм, при 1200 кг – 105 мм. Навантаження, що сприймається одним роликом, приймають рівним 70 % від

ваги виробу, що складається, для однорядного рольганга і 40 % – для дворядного.

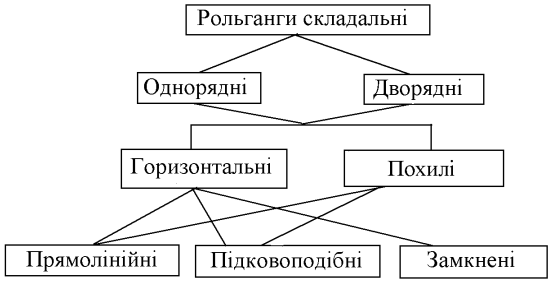


Рис. 11.18. Схема різновидностей рольгангів, які використовуються при складанні

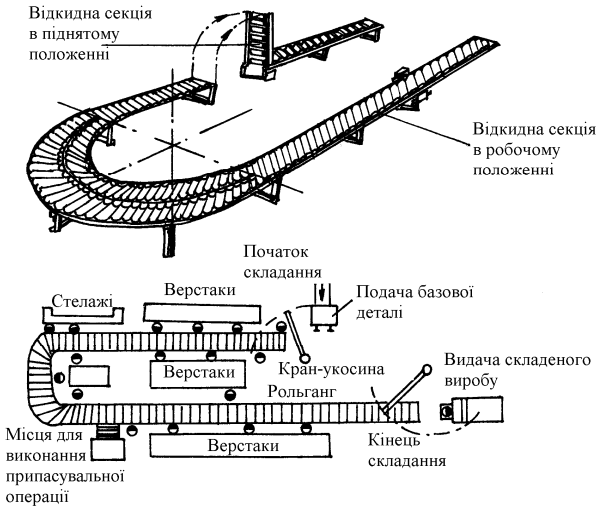


Рис. 11.19. Загальний вигляд рольганга і план ділянки на рольгангу

Припасувальні операції при складанні виробів часто виносять з потоку на спеціальне робоче місце. В цьому випадку рольганги обладнують відвідними ділянками. Вироби передають на ці ділянки за допомогою поворотних чи підйомних секцій, які приводяться в дію пневмоциліндрами.

Складальні візки. При потоковому складанні часто використовують візки, на яких закріплюють вироби, що складаються. Візки послідовно пересувають від одного робочого місця до другого зі швидкістю 10–15 м/хв. Вони можуть переміщатись безпосередньо по підлозі або по рейках що вмонтовані в підлогу. Для повороту візків у вихідне положення застосовують допоміжний рейковий шлях. На рис. 11.20 показана схема ділянки складання на рухомих візках.

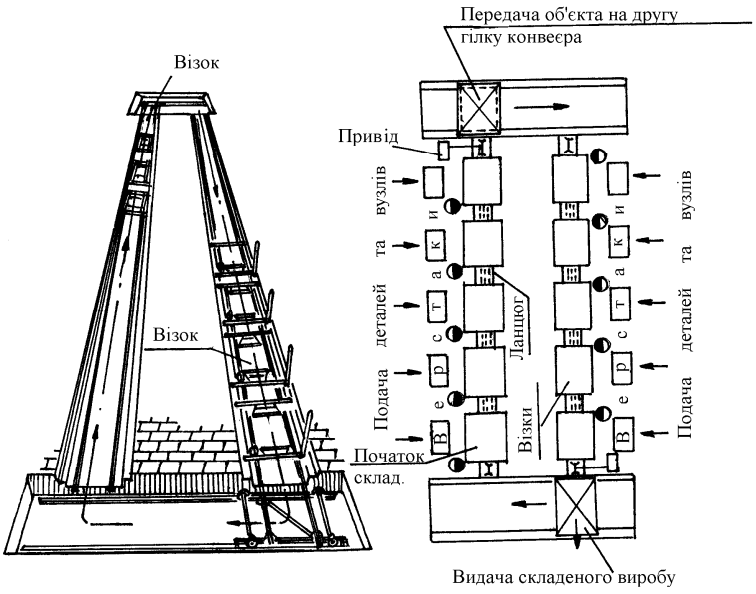


Рис. 11.20. Схема ділянки складання на рухомих візках

Типи конвеєрів, що застосовуються в складальних цехах, показані на рис. 11.21. Ці конвеєри призначені: складальні – для переміщення виробів, що складаються, при вузловому та загальному складанні, транспортні – для подачі на складальні ділянки і лінії деталей і напівфабрикатів.

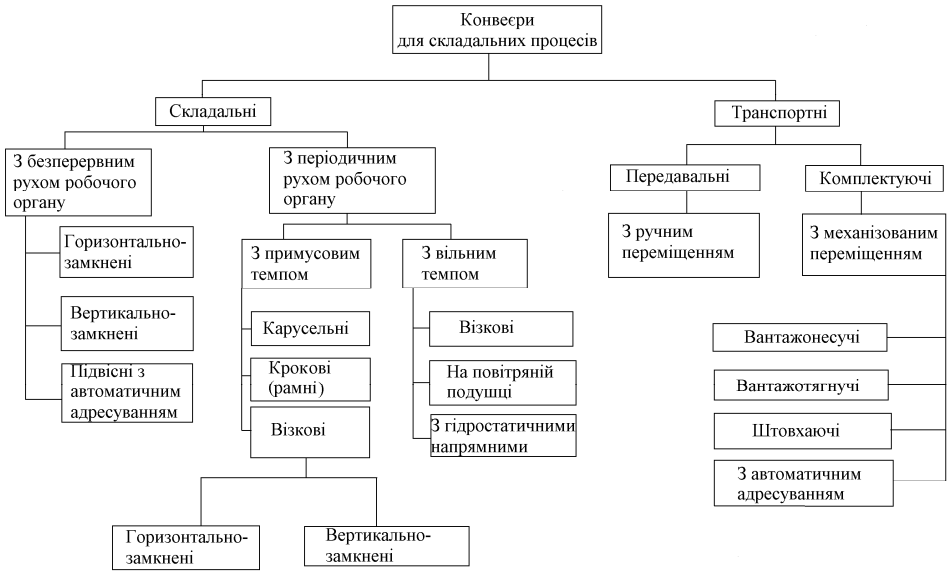


Рис. 11.21. Типи конвеєрів

Конвеєри складальні та стрічкові застосовують при складанні дрібних вузлів і виробів. Широке застосування вони мають в приладобудуванні. Ці конвеєри представляють собою плоску тканево-прогумовану стрічку шириною 200–800 мм, робоча частина стрічки пливе по гладкому дерев'яному чи металевому столу, а холоста гілка опирається на ролики. Швидкість руху стрічки – 0,02–0,5 м/с.

Продуктивність стрічкового конвеєра дорівнює 3500 να виробів за годину, де ν – швидкість стрічки в м/с α – кількість виробів на 1 погонний м стрічки. Приводні механізми конвеєрів складаються з черв'ячного редуктора або редуктора у сполученні з відкритою зубчастою чи ланцюговою передачею.

При складанні виробів на стрічковому конвеєрі користуються довгими вузькими верстаками (ширина 0,4–0,6 м), розташованими вздовж лінії складання. Звичайно робочі місця розташовують в цьому випадку з двох боків конвеєра (рис. 11.22, *а*). Складання легких, точних виробів на вузьких верстаках незручна. В таких випадках застосовують індивідуальні робочі столи розміром 0,6×1 м (рис. 11.22, *б*, *в*), встановлені перпендикулярно до лінії складання.

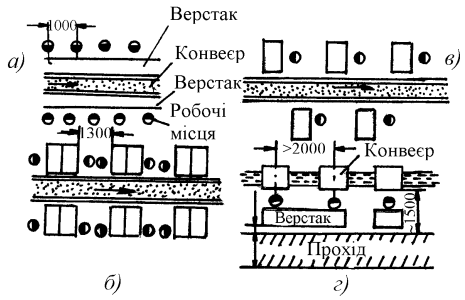


Рис 11.22. Схеми розташування верстаків на ділянках складання

Для складання малогабаритних вузлів і виробів отримують також поширення горизонтально-замкнені *штовхаючі конвеєри* з програмним пристосуванням для забезпечення заданого темпу роботи і автоматичного адресуванням об'єктів складання по робочих місцях, де створюються постійні заробки складуваних виробів. В ряді конструкцій таких конвеєрів передбачене дублювання виконання операцій з кількістю дублерів від двох до десяти.

Привідний візковий конвеєр (рис. 11.22, *г*) представляє собою механізм для періодичного чи безперервного руху груп візків, скріплених одним чи двома ланцюгами. Швидкість переміщення візків – 0,1–0,4 м/хв.

Якщо рух візків замкнутий у вертикальній площині, то конвеєр називається вертикально-замкненим, якщо ж всі візки розташовуються в одній горизонтальній площині, то конвеєр відповідно називається горизонтально-замкненим.

У пластинчастих конвеєрів тяговим органом є один чи два ланцюги, а робоча поверхня конвеєра виконана у вигляді металевих чи пластмасових (рідше дерев'яних)

пластин. Горизонтально-замкнені пластинчасті конвеєри мають відповідну форму пластин рис. 11.23, виконану із врахуванням кривизни поворотів на кутах.

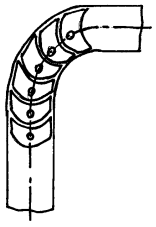


Рис. 11.23. Схеми розташування пластин горизонтально-замкнутого конвеєра

Конвеєри звичайно розташовують на ділянці складання в одну лінію. При великій кількості складальних операцій та великогабаритному виробі довжина конвеєра може бути надто великою для габаритів цеху. В таких випадках лінію конвеєра роблять Г- чи П-подібною. На кутах передбачають поворотні круги (рис. 11.24) з передаточним конвеєром. Цикл роботи таких кругів автоматизують.

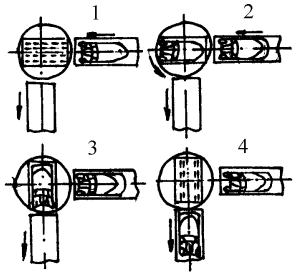


Рис. 11.24. Схема роботи поворотного круга конвеєра: 1 – перший виріб рухається до поворотного круга; 2 – перший виріб знаходиться на крузі, другий виріб рухається до поворотного круга; 3 – поворот першого виробу на крузі закінчено; 4 – перший виріб пересунуто на другу гілку конвеєра, круг починає обернений поворот

Для складання вузлів при невеликій кількості операцій застосовують *карусельні конвеєри,* які представляють собою круглий обертаючий стіл, по периметру якого розміщують від чотирьох до восьми робочих місць. На спеціальному нерухомому стояку за необхідності встановлюють потрібне за технологією складання вузла обладнання (прес, клепальну скобу тощо) чи підвішують механізований інструмент. В середині корпуса стола розміщується привід, який складається з електродвигуна, варіаторів і черв'ячного редуктора. На складальній дільниці карусельні конвеєри розміщують поблизу головного конвеєра з таким розрахунком, щоб вузли безпосередньо поступали на загальне складання виробів.

Для складання великих об'єктів (тракторів, автомобілів) застосовують *ланцюгові конвеєри на підлозі.* Вироби в цьому випадку складаються на одному чи двох візках, ролики-катки яких опираються на рейки чи сталеві пластини, вмонтовані в підлогу.

Візки за допомогою зчепів приєднують до тягового ланцюга (чи троса), які розташовані в канаві на рівні підлоги. Поворот звільнених візків здійснюється паралельно за допомогою аналогічного, але менш потужного механізму. В привідних механізмах таких конвеєрів звичайно передбачають варіатори для зміни швидкості переміщення від 0,1 до 5 м/хв. Рух конвеєра може здійснюватись безперервно чи періодично зі швидкістю 4–5 м/хв з наступними зупинками тривалістю, що дорівнює такту складання.

Довжина робочої частини складального конвеєра залежить від кількості робочих місць (постів) і габаритів виробу:

$$L_k = q_n(L_0 + l_1).$$

При цьому швидкість руху конвеєра буде:

– при безперервному переміщенні об'єкта

$$\nu' = \frac{L_o + \ell_1}{T_т \gamma}, \text{ м/хв } (\nu' \le 3{,}5 \div 5);$$

– при періодичному переміщенні об'єкта

$$\nu'' = \frac{L_o + \ell_1}{t_n}, \text{ м/хв } (\nu'' \le 0 \div 15),$$

де L_o – довжина вузла чи виробу, м;

l_1 – проміжок між вузлами чи виробами, м;

q_n – кількість робочих місць (постів);

$T_т$ – такт складання, хв;

γ – кількість потоків (визначення див. п. 8.7.7);

$t_n = \frac{\ell_n}{\nu_n}$ – час переміщення об'єкта;

l_n – довжина робочого місця;

ν_n – швидкість переміщення.

Необхідно враховувати, що на площі, обмеженій довжиною l_n складального поста, необхідно розмістити підвісне 1 (рис. 11.25) і стаціонарне 2 обладнання, тару 3 з деталями і матеріалами, призначеними для операції, причому останніх потрібно тим більше, чим вища швидкість конвеєра 4. Тому швидкість нерідко доводиться вибирати, виходячи з потрібної довжини складального поста, із врахуванням можливості зручного розміщення обладнання і оснащення на даному робочому місці.

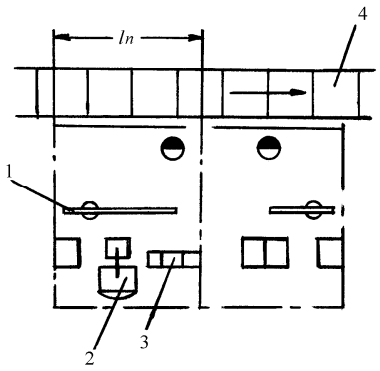


Рис. 11.25. Схема складального робочого місця

При визначенні загальної довжини конвеєра необхідно також передбачати резервні пости, на яких можна виконувати додаткові роботи, не враховані технологією, з тим щоб не порушувати ритм складання. Крім того, резервні пости дають можливість у випадку необхідності підвищувати продуктивність конвеєра. Кількість таких резервних постів приблизно рівна 15–20 % від основних, а в таких видах масового виробництва, як автомобілебудування, цей відсоток нерідко складає 35–40 %.

Якщо в процесі складання виробів потрібне їх точне вивірення, то встановлювати такі вироби на візки конвеєра недоцільно. З цією метою застосовують так звані *крокуючі (рамні) конвеєри.*

Принцип роботи одного з таких конвеєрів полягає в наступному. На бетонному підгрунті встановлюють ряди чавунних плит з кроком 2,6 м. Всі плити точно вивірені. На них встановлюють станини верстатів, що складаються. Конвеєр виконаний у вигляді рами з двотаврових балок. Довжина цієї рами – 47 м. Рама опирається на 44 гідравлічних домкрати. Крім того, до рами прикріплено дві зубчасті рейки, які зчіплюються з колесами, що обертаються від електродвигуна потужністю 25 кВт. Цикл роботи конвеєра складається з того, що через певні проміжки часу включається насос і мастило під тиском 15 кГ/см^2 подається в домкрати. Останні піднімають раму на 15 мм, а електродвигун, що вмикається в цей момент, через передачу пересуває цю раму на 2,6 мм. Разом з рамою переміщуються і всі верстати, що складаються. Далі домкрати опускаються, верстати опираються на чавунні плити, а рама, що опустилась, автоматично вмикає зворотний хід двигуна. Система повертається в початкове положення. Весь цикл триває 30 с.

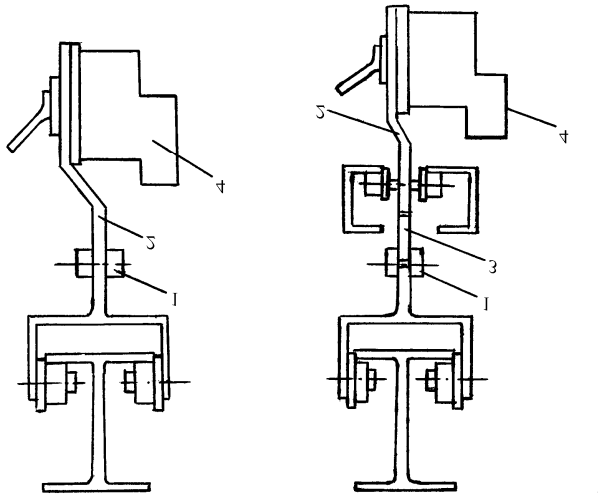


Рис. 11.26. Схеми підвісних складальних конвеєрів:
а – з жорстким зв'язком тягового органу з підвіскою; б – з гнучким зв'язком

На загальному складанні виробів середніх габаритів широко застосовуються підвісні конвеєри. На таких складальних конвеєрах можна створити кращі умови для роботи складальників завдяки зручному підходу до об'єкта і більш раціональної орієнтації його на різних операціях.

Підвісні складальні конвеєри можуть бути з жорстким зв'язком тягового органу 1 (рис. 11.26, *а*), з підвіскою 2 та з гнучким зв'язком (рис. 11.26, *б*), за допомогою включеного в систему поводка 3. Друга схема дає можливість короткочасно призупинити за необхідності підвіску 2 з об'єктом складання 4 для виконання операції. Крім того, така схема дозволяє здійснювати автоматичне адресування складуваних об'єктів на інші конвеєри чи ділянки складання.

Транспортні конвеєри. Для транспортування деталей, призначених для складання виробів, а також готових виробів на випробувальні станції чи на фарбування застосовують підвісні конвеєри.

Траса підвісного конвеєра просторова, тому одним конвеєром можна обслужити велику кількість робочих постів на складанні. Швидкість підвісних конвеєрів – до 25 м/хв.

Шлях підвісного конвеєра звичайно виконується у вигляді монорейки, прикріпленої до будівельних конструкцій, по якій рухаються каретки, з'єднані пластинчастим ланцюгом, а в конвеєрах невеликої вантажопідйомності (вага поодинокого вантажу – до 30 кг) – сталевим канатом, який в 4–6 разів легший ланцюга.

Каретки на конвеєрі чергуються – робочі та холості. Робоча каретка призначена для закріплення на ній вантажу, а холоста – для підтримки ланцюга. До робочої каретки прикріплюють крючки, захвати, лотки, етажерки чи інші види підвісок, на яких розміщують деталі та вузли, що транспортуються. Траверсне виконання кареток

передбачає можливість підвищення важких вантажів одночасно на дві каретки.

Вантажотягнучий конвеєр транспортує вантажі за допомогою візків, що переміщуються на підлозі, та тягнуться штангами кареток. В останній час широко застосовуються штовхаючі конвеєри з автоматичним адресуванням.

Транспортування деталей та вузлів в тарі можливе також на візках, які рухаються на підлозі за рахунок приєднання їх до нескінченого ланцюга, що рухається в каналі.

Складальні стенди. Машини і великі вузли часто складаються на стендах, конструкція яких залежить від форми, ваги і розмірів виробу, а також організації виробництва. Якщо складання проводять без переміщення виробу, то стенди роблять з нерухомою основою. У випадку ж, коли вироби, що складаються, повинні в процесі складання переміщуватись стенди оснащують ходовою частиною у вигляді гладких чи ребордчастих роликів. Стенди роблять такими, щоб їх можна було орієнтувати для зручності складання.

Підйомні пристосування, що застосовуються при складанні. Для піднімання та переміщення деталей, вузлів і виробів при виконанні складальних робіт застосовують різне підйомне обладнання. Найбільше застосування одержали електричні талі, консольні поворотні крани, крани-балки, а для важких вузлів і виробів застосовують пересувні крани, встановлені на підкранові шляхи. В (таблиці 20 [18] с. 345) наведені технічні характеристики одношвидкісних, з шарнірно-привідними і шарнірно-непривідними візками електричних талей, що випускаються за державним стандартом.

Консольні поворотні крани встановлюють на окремих стояках чи прикріплюють до колон виробничих приміщень.

Вони забезпечують підйом і передачу складуваних виробів в секторі 180°, з вильотом стріли до 6 м і вантажопідйомністю до 3 т. їх характеристики рекомендовані державним стандартом.

Мостові однобалкові крани-балки використовують для піднімання виробів до 5 т. Їх характеристики встановлює державний стандарт. Технічні характеристики мостових кранів також регламентують державним стандартом.

11.9. Розрахунок продуктивності та економічної ефективності технологічного процесу складання виробу

Техніко-економічну ефективність технологічного процесу складання оцінюють наступними критеріями [22]:

1) трудомісткістю складання виробу $T_{ск}$;

2) продуктивністю складального робочого місця:

$$Q = tR_{ск}/T_{шт},$$

де t – фонд робочого часу, хв;

$R_{ск}$ – число робітників, які виконують операцію на даному робочому місці;

3) коефіцієнтом завантаження робочих місць $K_З$ і потокової лінії $K_{з.л}$:

$$K_з = \frac{T_{шт}}{T_T R_{ск}};$$

$$K_{з.л.} = \frac{1}{\tau}\sum_{i=1}^{n}\eta_{si},$$

де τ – число робочих місць в лінії;

4) коефіцієнтом трудомісткості складального процесу:

$$K_{ТР} = T_{ск}/T_{М},$$

де $T_М$ – трудомісткість обробки заготовок деталей, що входять у виріб, хв;

5) коефіцієнтом розчленування складального процесу:

$$K_{розч} = T_{ск.вуз}/T_{ск},$$

де $T_{ск.вуз}$ – сумарна трудомісткість повузлового складання, хв;

6) коефіцієнтом досконалості складального процесу виробу:

$$K_{доск.ск} = \frac{T_{ск} - T_{пр}}{T_{ск}},$$

де $T_{пр}$ – трудомісткість припасувальних робіт, хв;

7) показником рівня автоматизації процесу складання:

$$K_{авт} = T_{авт}/T_{ск},$$

де $T_{авт}$ – тривалість складання виробу на автоматизованих операціях, хв;

8) коефіцієнтом оснащення технологічного процесу складання:

$$K_{осн} = K_{пристр}/n,$$

де $K_{пристр}$ – число складальних пристроїв;

n – число операцій складання даного виробу.

Вартість виконання операції визначають за формулою:

$$S_o = \frac{T_{шт.к.}}{60}\left[C_{г.з}\left(1 + \frac{Z_o - Z_a}{100}\right)\right] + \frac{aB_{обл}}{F_{до}\eta_з},$$

де $C_{г.з}$ – годинна заробітна плата робітника-складальника, грн;

Z_o – загальні цехові накладні витрати на виробничу заробітну плату, % ;

Z_a – накладні витрати на амортизацію обладнання, % ;

a – річні амортизаційні відрахування, % ;

$B_{обл}$– вартість обладнання, грн;

$F_{до}$– річний ефективний фонд часу роботи обладнання, год.

Технологічна собівартість виконання повузлового і загального складання одного виробу [22] дорівнює:

$$C = C\sum_{i=1}^{n}\left(T_{шт.п/в.}З_{п/в} + T_{шт.з}З_з + T_{шт.пр.}З_{пр} + T_{шт.р.}З_р\right) +$$

$$+ \sum_{i=1}^{n'} S_{хв}T_{шт} + \sum_{i=1}^{n''} T_н З_н + \frac{100\left(K_a + K_e\right)S_o}{n},$$

де $T_{шт.п/в}$, $T_{шт.з}$, $T_{шт.пр}$, $T_{шт.р}$ – відповідно штучний час повузлового і загального складання, припасування і регулювання, хв;

$З_{п/в}$, $З_з$, $З_{пр}$, $З_р$ – відповідно хвилинна заробітна плата при виконанні повузлового і загального складання, припасування та регулювання, грн;

$S_{хв}$ – вартість 1 хвилини роботи складального обладнання, грн;

$З_н$ – хвилинна заробітна плата одного налагоджувальника, грн;

$К_а$, $К_е$ – коефіцієнти амортизації та експлуатації складального оснащення, ($К_а$ = 0,2...0,5; $К_е$ = 0,2);

$S_о$ – вартість всього складального оснащення, грн;

n – число складальних операцій;

n′– число одиниць складального обладнання;

n′′ – число переналагоджуваних складальних операцій.

При розрахунку витрат по заробітній платні виходять з того, що основні робітники складальної дільниці працюють за відрядною оплатою праці, а допоміжні – за часово-преміальною.

Витрати по заробітній платні основних робітників рівні:

$$С_з = З_1К_сТ_{скΣ},$$

де $З_1$ – годинна тарифна ставка першого розряду для відрядників, грн/люд-год;

$К_с$ – середній тарифний коефіцієнт;

$Т_{скΣ}$ – сумарна річна трудомісткість складання виробу, год.

Витрати по додатковій заробітній платні основних робітників приймають рівними 6...12 % від основної заробітної плати:

$$С_д = (0,06…0,12).$$

Сумарні річні витрати по заробітній платі основних робітників рівні:

$$З_о = С_з + С_д.$$

Середньомісячна заробітна плата одного основного робітника дорівнює:

$$З = З_о/(12R_{ск}).$$

Витрати по прямій заробітній платі допоміжних робітників рівні:

$$З_д = З_{1п}К_сR_дF_{д.р},$$

де $З_{1п}$ – годинна тарифна ставка почасовиків 2-го розряду, грн/люд-год.

Річний фонд премій допоміжних робітників приймають рівним 20 % від витрат по прямій заробітній платі допоміжних робітників, тобто $З_{п.р}$= 0,2 Зд.

Сумарні річні витрати по зарплатні допоміжних робітників рівні:

$$З_{Σд} = З_д + З_{п.р}.$$

Середньомісячні витрати по заробітній платні одного допоміжного робітника визначаються за формулою:

$$З_{мд} = \frac{З_{\sum д}}{12\ R_д}.$$

11.10. Оформлення технологічної документації складання виробу

Вимоги щодо заповнення та оформлення технологічних документів на технологічні процеси (операції), спеціалізовані по методах складання, встановлюються за державним стандартом.

Вибір документів відповідних видів в залежності від типу і характеру виробництва, стадії розробки технологічної документації, ступеня деталізації опису і методів складання, що застосовуються встановлює розробник документів.

Вимоги щодо побудови і заповнення операційних карт (ОК) встановлює державний стандарт (форми 1 і 1а, 2 і 2а, 3 і 3а). Цей стандарт передбачає можливість застосування форм маршрутних карт (МК) як інших технологічних документів: карт технологічного процесу (КТП), карт типового технологічного процесу (КТТП), карт технологічної інформації (КТІ), відомості деталей складальних одиниць до типового групового технологічного процесу (операції) (ВТП, ВТО); операційних карт (ОК); комплектувальної карти (КК) тощо. При цьому в графі 28 блока Б6 основного напису карти необхідно проставляти через дріб умовне позначення відповідного виду документа, функції якого виконує МК, наприклад, МК/КТП, МК/ОК і т.ін.

Найбільш зручними формами є форми 2 і 1б МК за державним стандартом і ОК форми 1 і 1а за державним стандартом.

Загальні вимоги до форм, бланків і загальні вимоги до їх оформлення, а при проектуванні документів із застосуванням засобів механізації та автоматизації також встановлюються державними стандартами.

Після розробки технологічного процесу складання заповнюють технологічні документи, склад яких наведено в додатку 7 [11].

Терміни та визначення основних понять і визначень технологічних процесів виготовлення і ремонту виробів машинобудування і приладобудування, умовні позначення, найменування, скорочення слів і словосполучень, що застосовуються в описі технології складання, повинні також відповідати державному стандарту.

За необхідності складають ескізи окремих технологічних операцій та переходів складання, а також методів операційного контролю. Ескізи роблять в пояснювальній записці на картах ескізів чи на аркушах графічної частини проекту згідно зі стандартом.

Правила запису операцій та переходів в документах, що застосовуються при проектуванні технологічних процесів і операцій, пов’язаних з виконанням слюсарних і слюсарно-складальних робіт, регламентовані державним стандартом. Перелік операцій складання наведений в додатку 8, а приклади запису операцій та переходів складання, ключових слів технологічних переходів і запис найменувань оброблюваних конструктивних елементів наведені в додатках 9–11.

Запис змісту операцій, виконуваних в серійному і масовому виробництвах, проводять у формі операційного опису, а виконуваних в одиночному і дослідному виробництвах – у формі маршрутного чи маршрутно-операційного опису.

Допускається повна і скорочена форма запису змісту операції та переходу (див. додаток 9). Повний запис характерний для переходів, що не мають ілюстрацій (на картах ескізів).

В зміст операції (переходу) має бути включено: ключове слово (дивиться додаток 10) – найменування дії, яка включає певні методи обробки чи складання виробів, і виражене дієсловом у невизначеній формі; додаткова інформація, яка характеризує число оброблюваних елементів поверхонь (наприклад, свердлити 3 отвори), найменування предметів виробництва, оброблюваних поверхонь і конструктивних елементів (див. додаток 12), інформацію по розмірах чи їх умовних позначеннях.

Форми і правила оформлення маршрутних карт в курсових і дипломних проектах при розробці технологічних процесів складання встановлені державним стандартом.

Приклад оформлення МК наведено у додатку 13, а операційної карти слюсарно-складальних робіт – у додатку 14.

11.11. Скорочений приклад розробки технологічного процесу складання

Розглянемо проектування технології складання машини на прикладі розробки технологічного процесу складання одного з вузлів – шестеренного мастильного насоса (рис. 11.27) [20].

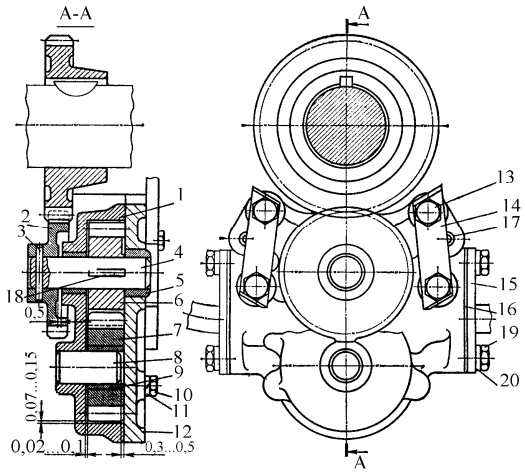


Рис. 11.27. Загальний вигляд шестеренного насоса трактора: 1 – корпус; 2 – ведене зубчасте колесо; 3 – штифт; 4 – валик; 5, 9 – втулка; 6, 7 – зубчасте колесо; 8 – вісь; 10, 19 – гвинт; 11, 20 – шайба; 12 – кришка; 13 – болт; 14 – стопорна пластина; 15 – труба приймача; 16, 17 – прокладка; 18 – шпонка

Початкові дані для проектування технологічного процесу:

– креслення загального виду складальної одиниці (рис. 11.27);

– технічні умови на виготовлення та приймання виробу (наведені на кресленнях загального виду та в технічних вимогах);

– специфікація деталей складальної одиниці;

– програма випуску складає 100000 насосів на рік, при цьому загальний випуск насосів за незмінними кресленнями складає 800000 шт.;

– режим роботи – двозмінний.

Ознайомлення зі службовим призначенням вузла. Шестеренний насос призначений для подачі мастильного матеріалу до поверхонь деталей трактора, що труться, під тиском 0,6 МПа. Насос повинен забезпечити подачу мастила не менше 30 л/хв при частоті обертання зубчастих коліс 39 $с^{-1}$. Отже, при заданій частоті обертання та постійному тиску мастила, продуктивність насоса буде залежати від

величин зазорів між зубчастими колесами і корпусом, а також від бокового зазору самої зубчастої передачі.

Таким чином, в технічних умовах на виготовлення вузла повинні бути вказані саме ці параметри. На наступному етапі треба проаналізувати ці параметри і виявити, як вони відповідають службовому призначенню вузла.

Аналіз і розробка технічних вимог до складальної одиниці. На кресленні задані такі технічні вимоги і норми точності:

1) насос повинен забезпечити подачу мастила не менше 30 л/хв при частоті обертання зубчастих коліс 39 $с^{-1}$ і тиску 0,6 МПа;

2) у складеному насосі при прокручуванні від руки зубчасті колеса повинні обертатися плавно;

3) складений насос повинен бути чистим, його зубчасті колеса повинні працювати плавно і безшумно, насос необхідно піддати випробовуванням на спеціальній установці протягом 3–4 хв;

4) радіальний зазор між зубчастими колесами і корпусом;

5) зазор між корпусом і торцями зубчастих коліс (торцьовий зазор).

Приступаючи до аналізу технічних умов, перш за все потрібно проаналізувати достатність та правильність технічних умов, заданих кресленням, по подачі мастила, тобто продуктивність насоса. Вона, як було зазначено вище, обумовлюється величиною зазорів.

Фактична подача насоса:

$$Q^{TM} = 60Q_T n – Q_y – Q_{вс},$$

де Q_T – теоретична подача насоса за один оберт зубчастих коліс, л/хв;

n – частота обертання зубчастих коліс, $с^{-1}$;

$Q_в$ – втрати мастила (витік), л/хв;

$Q_{вс}$ – втрати при всмоктуванні, л/хв.

При нагнітанні можливі витоки мастила рівні:

$$Q_в = Q_{вр} + Q_{вз} + Q_{вт},$$

де $Q_{вр}$ – втрати через радіальні зазори між зубцями і корпусом;

$Q_{вз}$ – втрати, обумовлені нещільністю контакту зубців;

$Q_{вт}$ – втрати через торцьові зазори між корпусом і зубчастими колесами.

У відповідності з наведеними залежностями розрахунок насоса і розробка норм точності повинні бути проведені за такою схемою. Виходячи з потрібної подачі, потрібно встановити теоретичну подачу, норми витоку і втрат мастила при всмоктуванні. Потім переходять до розмірів зубчастих коліс, їх модуля, ширини і параметрів зчеплення. Норми допустимих витоків при всмоктуванні дозволяють обмежити допусками параметри, від яких залежать витоки і втрати. Зокрема, виходячи зі встановленої норми витоку мастила, знаходять норми витоку $Q_{вр}$, $Q_{вз}$, $Q_{вт}$, а виходячи з них, визначають найбільший допустимий радіальний зазор, боковий зазор між зубцями, торцьовий зазор. Встановлюючи найменші допустимі зазори, потрібно враховувати умови тертя зубчастих коліс об корпус і можливість заклинювання їх при нагріванні під час роботи.

При розрахунку допусків необхідно визначити, чи відповідають вимогам службового призначення насоса верхні граничні значення зазорів, що задані

кресленням. В табл. 11.4 наведені можливі витоки мастила, які знайдені за методикою розрахунку шестеренних насосів.

Таблиця 11.4

Вплив зазорів на витік мастила

Причина витікання мастила	Верхнє граничне відхилення зазору, мм	Можливий витік мастила, л/хв
Радіальні зазори	0,15	0,44
Боковий зазор між зубцями зубчастих коліс	0,45	4,49
Торцевий зазор між зубчастими колесами і корпусом	0,12	1,8
Всього		6,73

Втрати при всмоктуванні, однією з головних причин яких є розрідження у всмоктуючій камері насоса і неповне заповнення міжзубових западин, $Q_{вс}$= 4,83 л/хв.

Враховуючи, що теоретична подача насоса при розмірах зубчастих коліс і корпуса, вказаних на кресленні, буде:

$$60Q_{тп} = 60 \cdot 0{,}01785 \cdot 39 = 41{,}95 \text{ л/хв},$$

можна очікувати, що подача насоса

$$Q_{очік} = 41{,}95 – 7{,}73 – 4{,}83 – 30{,}39 \text{ л/хв}.$$

Отже, верхні граничні відхилення зазорів встановлені правильно.

Вимоги щодо легкості та плавності, а також безшумності обертання зубчастих коліс (див. вище п. 2, 3) задані в прихованій формі. Тому формулювання вимоги під другим номером потрібно було б замінити такою: в остаточно складеному насосі привідний вал повинен вільно прокручуватись від руки; крутний момент, потрібний для прокручування привідного валу, не повинен перевищувати 1...1,5 Н·м. Третю умову необхідно сформулювати так: рівень звукового тиску (шуму) при роботі насоса під навантаженням не повинен перевищувати 40 дБ.

Виходячи з умов виготовлення деталей і складання вузла, в норми точності, що задані кресленням, необхідно внести такі уточнення:

– встановити допуск на боковий зазор в зубчастому зчепленні насоса;

– на зазор між корпусом і торцем веденого зубчастого колеса приводу потрібно встановити допуск; враховуючи, що для вільного обертання зубчастого колеса цілком достатній зазор 0,1 мм, можна встановити граничне відхилення зазору 0,1...0,5 мм.

З’ясувавши відповідність технічних вимог службовому призначенню шестеренного насоса і відкоригувавши їх, можна перейти до визначення типу виробництва і організаційної форми складання.

Вибір типу виробництва і встановлення організаційної форми складання. Виходячи з конструкції об’єкта складання, масштабу його випуску і числа виробів, що складаються за незмінними кресленнями, можна орієнтовно намітити форму і вид

організації процесу складання насоса. Порівняно проста конструкція насоса, малі габарити, невелика маса і в той же час значний масштаб випуску вказують на те, що найбільш прийнятним є потокове складання. Транспортувати об'єкт, що складається, з одного робочого місця на інше зручніше за допомогою рухомого конвеєра.

При заданій програмі та двозмінній роботі такт Т випуску насосів:

$$T = \Phi / N = \frac{4015 \cdot 60}{100000} = 2{,}14 \text{ хв/шт.}$$

Аналіз технологічності конструкції складальної одиниці. Потрібно відмітити, що насос складається з типових деталей, конструкція його проста і не викликає труднощів при складанні, можна застосувати прогресивні методи складання, пристрої для підвищення якості виробів і продуктивності праці, тому до конструкції зауважень немає. Задані технічні умови і проставлення розмірів проаналізовані на попередньому етапі, виявлені недоліки, які узгоджено, відкоректовано і занесено в креслення.

Розмірний аналіз конструкції та уточнення методів досягнення точності замикальних ланок (цей етап наводиться як приклад у скороченому вигляді).

Приступаючи до проведення розмірного аналізу, намітимо найбільш важливі задачі, які необхідно розв'язати в процесі виготовлення насоса. Цими задачами є забезпечення:

1) потрібного радіального зазору між зубчастими колесами і корпусом;

2) зазору між корпусом і торцями зубчастих коліс (торцьового зазору);

3) потрібного бокового зазору між зубцями зубчастих коліс;

4) потрібного зазору між торцем осі веденого зубчастого колеса і кришкою корпусу;

5) зазору між корпусом і торцем веденого зубчастого колеса;

6) щільності контакту зубців зубчастого колеса;

7) легкості обертання зубчастих коліс.

Для розв'язання цих задач треба на загальному кресленні вузла визначити замикальні ланки, побудувати розмірні ланцюги і розв'язати їх.

Перші п'ять задач можуть бути розв'язані за допомогою побудованих нами розмірних ланцюгів А–Д (рис. 11.28). Щільність контакту зубців зубчастих коліс залежить від відповідного повороту твірних евольвентних поверхонь зубців у двох координатних площинах. Розмірні ланцюги, за допомогою яких забезпечується розв'язання цієї задачі, розглянуті нижче.

Для легкого обертання зубчастих коліс необхідно, щоб:

– зазор між торцями коліс, корпусом і кришкою був не менший товщини мастильної плівки; для цього повинні бути забезпечені з відповідною точністю відстань між торцями коліс і дном корпусу і поворот торців коліс відносно дна корпусу; розмірні ланцюги Б і γ (рис. 11.29) дають розв'язання цих задач в одній з координатних площин;

– були забезпечені потрібні зазори в підшипниках, які залежать від діаметральних розмірів отворів втулок і валика (розмірний ланцюг Е(рис. 11.29)) і від точності відносного зміщення і повороту осей отворів втулок в двох

координатних площинах. Ці задачі можуть бути розв'язані в одній з координатних площин за допомогою розмірних ланцюгів К і μ.

Виявлені розмірні ланцюги дозволяють розкрити закладені в конструкції методи досягнення точності кожного з перелічених параметрів і оцінити правильність простановлення розмірів і допусків на кресленнях деталей насосу.

Наприклад, радіальний зазор (див. рис. 11.28 і табл. 11.5):

$$A_\Delta = -A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5.$$

Номінал замикальної ланки згідно з кресленням деталей:

$$A_\Delta = -48{,}75 + 0 + 0 + 0 + 48{,}75 = 0.$$

Таблиця 11.5

Параметри складових ланок розмірного ланцюга А

Ланка	Номінальне значення A_i, мм	Поле допуску δA_i, мм	Координата середини поля допуску Δo_{Ai}, мм	Сутність допустимого відхилення
A_1	48,75	0,017	-0,008	
A_2	0	0,03	0	Граничне допустиме значення биття поверхні вершин зубців відносно отвору
A_3	0	0,072	0	Верхнє граничне значення зазору в підшипнику
A_4	0	0,05	0	Граничне допустиме значення биття зовнішньої поверхні втулки відносно її отвору
A_5	48,75	0,05	0,1	

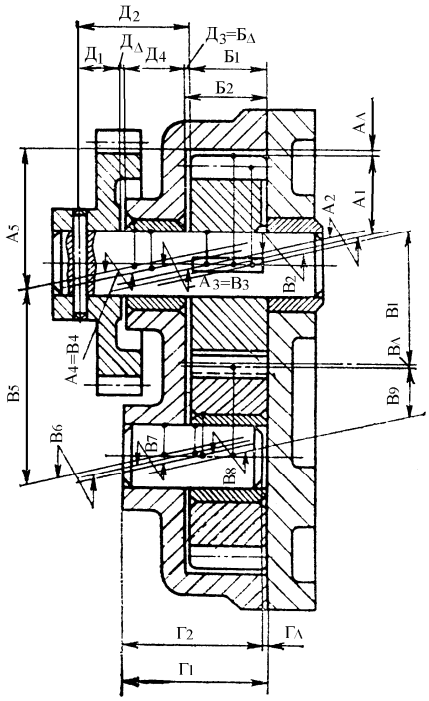


Рис. 11.28. Розмірні ланцюги шестеренного насоса

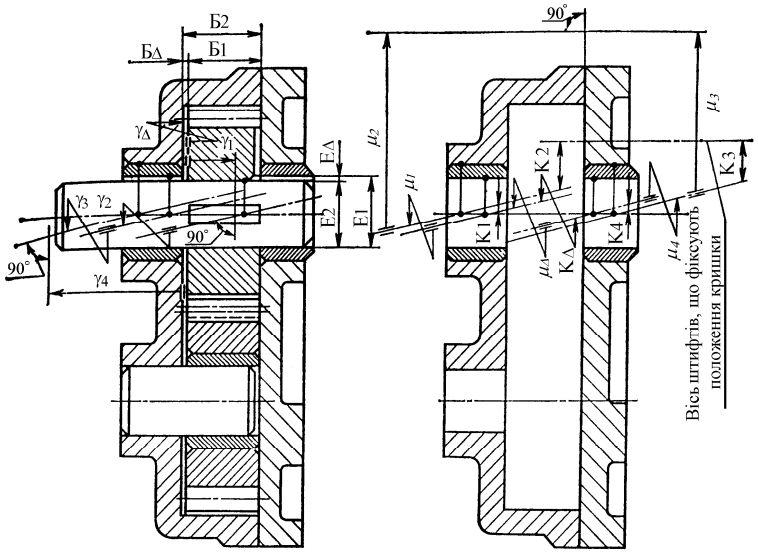


Рис. 11.29. Розмірні ланцюги шестеренного насоса, що визначають легкість обертання шестерні

Поле допуску замикальної ланки, якщо забезпечити його точність за методом повної взаємозамінності:

$$T_{A\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} T_{Ai} = 0{,}017 + 0{,}03 + 0{,}072 + 0{,}05 + 0{,}05 = 0{,}219 \text{ мм}.$$

Координата середини поля допуску замикальної ланки:

$$\Delta o_{Ao} = -\Delta o_{A1} + \Delta o_{A2} + \Delta o_{A3} + \Delta o_{A4} + \Delta o_{A5};$$

$$\Delta o_{A\Delta} = 0{,}008 + 0 + 0 + 0 + 0{,}1 = 0{,}108 \text{ мм}.$$

Верхнє та нижнє граничне відхилення замикальної ланки:

$$\Delta в A_{\Delta} = 0{,}108 + 0{,}219/2 = 0{,}218 \text{ мм};$$

$$\Delta н A_{\Delta} = 0{,}108 - 0{,}219/2 = 0{,}002 \text{ мм}$$

в той час як технічними вимогами на насос зазор задано в межах 0,07...0,15 мм (див. рис. 11.27).

Таким чином, при допусках на розміри деталей, заданих кресленнями, застосування методу повної взаємозамінності не є можливим.

Перевіримо можливість досягнення радіального зазору в потрібних межах за методом неповної взаємозамінності при ризику 0,27 % (t = 3) і за умови, що розсіювання похибок складових ланок підкоряється закону нормального розподілу (λ^2 Ai = 1/9). При цьому доцільно трохи зменшити зазор в підшипниках, значення якого звичайно призначаються для насоса середнього тиску в межах 0,002...0,003 діаметра вала. Для вала діаметром 15 мм можна вважати допустимим зазор в підшипниках 0.03...0,045 мм. Змінивши значення TA_3, можна очікувати, що досягнення точності радіального зазору за методом неповної взаємозамінності відхилення A_{Δ} буде знаходитись в межах:

$$TA_{\Delta} = t\sum_{i=1}^{m-1} \lambda A_i^{\,2} TA_i^{\,2} =$$

$$= 3\sqrt{\frac{1}{9}\left(0{,}017^{\,2} + 0{,}03^{\,2} + 0.45^{\,2} + 0{,}05^{\,2}\right)} = 0{,}09,$$

причому:

$$\Delta в A_{\Delta} = 0{,}108 + 0{,}09/2 = 0{,}153 \text{ мм};$$

$$\Delta н A_{\Delta} = 0{,}108 - 0{,}09/2 = 0{,}063 \text{ мм}.$$

Отже, можна вважати, що радіальний зазор в насосі можна забезпечити за методом неповної взаємозамінності при ризику 0,27 %. При заданому масштабі випуску такий ризик цілком прийнятний.

Таким чином, повинні бути знайдені методи розв'язання кожної зі сформульованих задач, і якщо це потрібно, внесені відповідні корективи в кресленнях деталей насоса.

Крім знаходження методу розв'язання кожної зі сформульованих задач, розмірний аналіз допомагає розібратись в послідовності складання вузла. Наприклад, послідовність складання насоса розглядуваної конструкції істотно залежить від того, яким методом вдається забезпечити співвісність отворів підшипників ковзання валика. Проаналізуємо це питання.

Мінімальний зазор в підшипниках, як встановлено вище, повинен бути 0,03 мм. Товщина мастильного шару в будь-якій точці дотику валика повинна бути не менше

0,01 мм. Отже, на компенсацію неспіввісності отворів втулок залишається не більше 0,03 – 0,01 = 0,02 мм. Неспіввісність отворів втулок складається із відносного зміщення і повороту їх осей в двох координатних площинах (див. рис. 11.29). Навіть якщо повністю використати мінімальний зазор в підшипниках для компенсації похибок двох видів тільки в одній з координатних площин, навіть тоді допуски замикальних ланок розмірних ланцюгів К і μ будуть $Тк_{\Delta}$ = 0,01 мм і $Т\mu_{\Delta}$ = 0,01/45 мм.

Згідно з допусками на розміри деталей, заданих в кресленнях і наведених нижче:

Ланка	$К_1$	$К_2$	$К_3$	$К_4$	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
Допуск, мм	0,05	0,07	0,15	0,05	0,02/45	0,10/45	0,07/45	0,02/45

можна очікувати відхилення $К_{\Delta}$ і μ_{Δ} в межах:

$$Tk_{\Delta}' = \sum_{i=1}^{m-1} T'k_i = 0,05 + 0,07 + 0,15 + 0,05 = 0,32 \text{ мм};$$

$$T\mu_{\Delta}' = \sum_{i=1}^{m-1} T'\mu_i = 0,02 + 0,10 + 0,07 + 0,02 = 0,21/45 \text{ мм}.$$

Зрозуміло, що при відхиленнях $К_{\Delta}$ і μ_{Δ} в таких межах неможна використати ні один з методів взаємозамінності для забезпечення потрібного зазору з підшипниках. Неможна також зробити допуски більш жорсткими, оскільки це дуже ускладнить виготовлення деталей.

Забезпечити співвісність отворів втулок методом регулювання, переміщуючи кришку відносно корпуса і фіксуючи її штифтом при досягненні потрібного положення, також неможливо. Такий спосіб не компенсує похибки відносного повороту осей, які, як показав розрахунок, можуть бути значними. Отже, задачу, що виникла, навіть при заданому масштабі випуску доводиться розв'язувати методом припасування. Найбільш доцільне тут розточування, яке дозволяє не тільки одержати необхідну точність розмірів, форми і шорсткість поверхонь отворів, але й підвищити точність їх відносного положення.

Одержаний в результаті розмірного аналізу висновок щодо забезпечення співвісності втулок прямо впливає на побудову технологічного процесу виготовлення деталей насоса. Ці вимоги повинні бути сформульовані таким чином:

1) при механічній обробці втулок на внутрішній поверхні треба залишити припуск для їх спільного розточування при складанні;

2) при механічній обробці корпусу потрібно використовувати такі технологічні бази, які можна використати при розточуванні втулок при складанні. Дотримання принципу єдності баз дозволить підвищити точність розточування і зменшить необхідний припуск. За технологічні бази найзручніше використати поверхні бобишок (установча база) і двох отворів в них (напрямна і опорна бази), призначених для кріплення до корпусу насоса стопорних пластин.

Але для цього вказані поверхні повинні бути точно оброблені, щоб похибки встановлення деталі на операціях не перевищили потрібних норм. Встановити потрібну точність поверхонь технологічних баз, а також величину припуску на розточування не представляє труднощів, якщо виявити і проаналізувати розмірні

ланцюги системи верстат – пристрій – інструмент – заготовка, на яких буде здійснюватись обробка найбільш відповідальних поверхонь корпусу насоса (отворів під втулку підшипника і осі, гнізд під зубчасті колеса і торцьової поверхні).

Цей приклад показує, що технологічний процес складання є головним процесом виготовлення машини, він, як було показано вище, визначає побудову технологічних процесів виготовлення деталей, а тому при постановці на виробництво нової машини, завжди розробляється першим і розробляють його технологи високої кваліфікації.

Розробка послідовності та змісту операцій.

Складання насоса потрібно проводити в такому порядку.

В остаточно оброблені корпус і кришку необхідно запресувати втулки підшипників, скласти корпус з кришкою, поставити контрольні штифти, які фіксують положення кришки відносно корпусу, і обробити остаточно втулки. Після цього потрібно зняти кришку з корпусу, встановити в корпус деталі насоса і знову поставити кришку на місце.

Більш детально і наочно послідовність складання шестеренного насоса представлена на рис. 11.30 (номери на схемі відповідають номерам деталей на рис. 11.27). На схемі показано не тільки складання, але й часткове розкладання, яке виявилося необхідним в процесі складання насоса даної конструкції. Складання комплекту 4, що включає деталі 7 і 9, виконується в механічному цеху, де виготовляються зубчасті колеса. На схемі можна також вказати всі операції додаткової обробки деталей, що виконуються в складальному цеху.

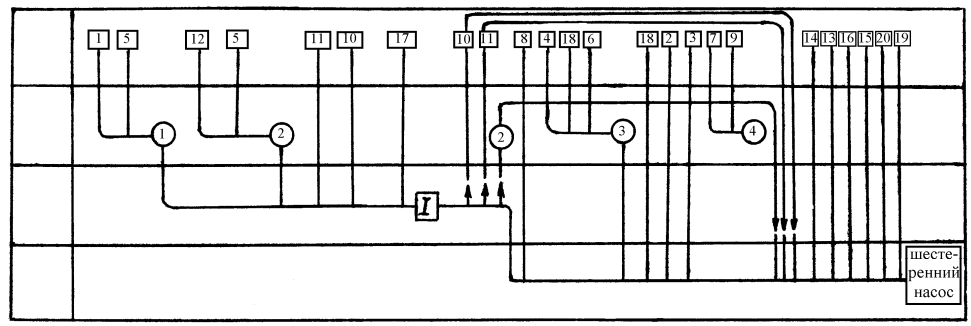


Рис. 11.30. Схема складання шестеренного насоса

Для полегшення праці складальників і підвищення її продуктивності при заданих масштабах випуску і серійності можна застосовувати не тільки універсальне, але й спеціальне технологічне оснащення. Наприклад, для запресовування втулок підшипників в корпус і кришку найкраще використати пневматичний прес. Для напресовування зубчастого колеса (див. рис. 11.27) на валик 4 потрібно передбачити пристрій, який дозволив би забезпечити з необхідною точністю розмір D_2 (див. рис. 11.28).

Допуск на ланку повинен бути встановленим, виходячи з вимог до точності $Д_Δ$ із врахуванням точності решти ланок $Д_i$. Щоб при запресуванні не була пошкоджена циліндрична поверхня валика, зубчасте колесо перед запресовуванням необхідно

нагріти. Тому в номенклатуру обладнання дільниці складання насоса треба включити нагрівальну установку з мастильною ванною.

Результатом всього зробленого по розробці технологічного процесу складання насоса є технологічна карта складання шестеренного насоса (табл.11.6). На відміну від схеми складання в технологічній карті складання для зручності планування та організації складального процесу складання комплектів відділене від загального складання насосу.

Таблиця 11.6

Технологічна карта складання шестеренного насоса (див. рис. 11.30)

Номер операції	Операція	Інструмент		Обладнання та пристосування	Розряд робітника	Норма штучного часу, хв.
		різальний та монтажний	контрольно-вимірювальний			
1	2	3	4	5	6	7
1	Запресувати втулку в корпус 1	Складання – Складання	Комплекту 1 – комплекту 2 –	Пневматичний прес	1	0,59
2	Запресувати втулку *5* в кришку 12	– Складання та підвузла	– Розкладання 1	Пневматичний прес	1	0,59
1	Приєднати до корпусу кришку 12 чотирма гвинтами 10, поставивши попередньо шайби 11	–	Пристосування для виверення положення кришки	Чотири шпиндельний гвинтоверт	1	0,96

Продовження табл. 11.6

1	2	3	4	5	6	7
2	Просвердлити в корпусі 1 два отвори $Ø7{,}8^{+0,2}$ мм під штифти 17	Свердло Ø7,8 мм	–	Вертикально-свердлильний верстат, пристосування	1	1,98
3	Розвернути в корпусі 1 два отвори $Ø7{,}8^{-0,012}_{-0,028}$ мм під штифти 1 7	Спеціальна розвертка	Граничний калібр	Вертикально-свердлильний верстат, пристосування	1	0,46
4	Встановити два штифти 17	Молоток	–		1	0,32
5	Розточити втулки підшипників $Ø15^{+0,06}_{+0,09}$ мм	Алмазний різець	Граничний калібр	Алмазно-розточувальний верстат, пристосування	2	1,02
6	Помістити кришку по корпусу, розібрати підвузол 1	–	–	Чотиришпиндельний гвинтоверт	1	1,10
				Всього		5,84

Продовження табл. 11.6

1	2	3	4	5	6	7
1	Вставити валик 4 у пристосування, поставити шпонку 18, напресувати зубчасте колесо 6	Складання – Загальне нас	Комплекту 3 – складання оса	Масляна ванна, пристосування	1	0,85
1	Запресувати вісь 8 у корпус 1	–	–	Камера для охолодження валика, пристосування	1	0,80
2	Встановити у корпус 1 комплект 3, посадити ведене зубчасте колесо 2 приводу і зафіксувати його штифтом 3	Молоток	–	–	1	1,16

Закінчення табл. 11.6

1	2	3	4	5	6	7
3	Посадити ведене зубчасте колесо 7 насоса	–	–	–	1	0,22
4	Приєднати до корпусу 1 кришку (комплект 2) чотирма гвинтами 10 з шайбами 11	–	–	Чотиришпиндельний гвинтоверт	1	0,96
5	Встановити стопорні пластини 14, прикріпити їх до корпусу болтами 13	–	–	Пневматичний ключ	1	1,32
6	Встановити прокладку 16 і приєднати трубу приймача 15 гвинтами 19 з шайбами 20	–	–	Пневматичний ключ	1	1,01
				Всього		5,47
				Загальна трудомісткість складання насоса		13,34

В табл. 11.7 наведений лише стислий зміст операцій без перелічення всіх робіт, що їх складають. Наприклад, операція 1 складання підвузла 1 передбачає встановлення корпусу у пристрій, встановлення кришки і шайб, наживлення болтів, вивірку положення кришки відносно корпусу, докручування болтів і зняття деталі.

Таблиця 11.7

Розподіл роботи між складальниками

№ робочого місця	Робота, яка виконується на кожному робочому місці	Трудомісткість, хв
1	Складання комплектів 1 і 2, складання підвузла 1, операція 1	2,14
2	Складання підвузла 1, операції 2...4	2,76
3	Складання підвузла 1, операції 5 і 6, складання комплекта 3	2,87
4	Загальне складання насоса, операції 1, 2 і 6	2,97
5	Загальне складання насоса, операції 3... 5	2,50

Нормування технологічного процесу складання. У відповідності зі змістом операції визначено норму штучного часу. Оскільки складання насоса не переривається складанням інших виробів, і складальникам не потрібно знайомитись з технічною документацією, отримувати напівфабрикати, інструмент, то підготовчо-заключний час в технологічній карті відсутній. Час обслуговування робочого місця і час перерв враховано при нормуванні в розмірі 6 % оперативного часу.

Число робітників, необхідних для виконання заданої програми:

$$q = \frac{To - Tc}{(T - tn)\gamma},$$

де T_o – трудомісткість операції, хв;

T_c – трудомісткість суміщених операцій, хв;

t_n – час, що витрачається на переміщення об’єкта складання з операції на операцію;

γ – число паралельних потоків.

За відсутності суміщених в часі операцій, при суміщенні часу транспортування насосів, що збираються з оперативним часом і в одному потоці:

$q = T_o/T = 13{,}34/2{,}41 = 5$ робітників.

Щоб приблизно однаково завантажити складальників роботою, операції по складанню насоса можна розподілити як вказано в табл. 1.7. Робітники на 2–5-му робочих місцях трохи перевантажені. Для більш рівномірного завантаження

складальників необхідно підвищити режими роботи обладнання та намітити пристрої, які б сприяли підвищенню продуктивності праці робітників на цих місцях.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які потрібні початкові дані для розробки технологічного процесу складання виробу? Обгрунтуйте їх необхідність.
2. Яким повинен бути зміст службового призначення машини? Наведіть приклад.
3. Що є початковими даними для розробки технічних вимог на складання та приймання машини?
4. Які основні (типові) дані повинні містити технічні вимоги на машину?
5. В якому порядку проводиться аналіз технічних вимог на машину?
6. Які питання розглядаються при технологічному контролі робочих креслень?
7. Який існує порядок виправлення помилок та зауважень, що виявлені при технологічному контролі креслень?
8. Як визначається тип виробництва при складанні?
9. Як визначається організаційна форма технологічного процесу при складанні?
10. Що розуміють під “технологічністю конструкції” машини?
11. Якими показниками оцінюється технологічність конструкції машини?
12. Сформулюйте основні вимоги до технологічності виробу.
13. В чому полягає сутність розмірного аналізу конструкції машини? Які задачі при цьому вирішуються?
14. Сформулюйте основні методичні положення розмірного аналізу конструкції машини.
15. В якому порядку виконується розмірний аналіз конструкції машини?
16. Охарактеризуйте зміст окремих етапів розмірного аналізу конструкції машини.
17. Що уявляє собою технологічна схема складання виробу?
18. Сформулюйте основні принципи, за якими визначається послідовність складання виробу.
19. Сформулюйте правила, за якими будується технологічна схема складання виробу.
20. Яким повинен бути зміст операцій маршрутного процесу в залежності від типу виробництва?
21. Як визначається потрібна кількість складальних стендів при серійному типі виробництва?
22. Які технологічні задачі розв’язуються при розробці маршрутного технологічного процесу складання виробу?
23. За якими принципами вибираються схеми базування при розробці складального технологічного процесу?
24. За якими принципами вибирається складальне технологічне обладнання?
25. За якими принципами вибирається складальне технологічне оснащення?

26. Охарактеризуйте механізований інструмент, що застосовується при складанні.

27. За якими принципами вибираються підйомно-транспортні засоби при складальних роботах?

28. Які основні похибки можуть мати місце при складанні виробу? Їх причини.

29. За якими організаційними принципами здійснюється контроль при складанні виробів?

30. Сформулюйте зміст основних контрольних операцій при загальному та повузловому складанні.

31. Які існують основні методи контролю складених вузлів? Дайте їх коротку характеристику.

32. В чому полягають основні напрямки підвищення продуктивності контрольних операцій?

33. Які початкові дані потрібні для розробки операційної технології складання?

34. Розкрийте методику формування раціональної структури операції складального технологічного процесу.

35. За якими критеріями оцінюються варіанти різних структур операцій складального процесу?

36. Сформулюйте особливості розробки операції при потоковій формі складання виробу.

37. Складіть приблизний перелік обладнання, що має бути розміщене на складальній дільниці.

38. Які задачі розв’язують при нормуванні технологічних процесів складання?

39. Які особливості нормування технологічних процесів при серійному типі виробництва?

40. Які особливості нормування технологічних процесів при потоковій формі організації виробництва?

41. Запишіть формулу штучного часу на складальну операцію в умовах масового та серійного виробництва. Розкрийте їх сутність.

42. Як визначається трудомісткість складання всього виробу?

43. Як визначається потрібна кількість робочих місць, необхідних для складання виробу?

44. Як визначається потрібна кількість основних та допоміжних робітників.

45. Як визначається число робочих позицій (місць) для паралельного складання однакових об’єктів при непотоковому стаціонарному складанні з розчленуванням робіт?

46. Як визначається число робочих позицій (місць) при непотоковому рухомому складанні?

47. Як визначається число потоків?

48. Як визначається число робітників (чи бригад) одного потоку при потоковому стаціонарному складанні?

49. Як визначається число робочих позицій при потоковому рухомому складанні?

50. Дайте загальну характеристику механізованого слюсарного інструменту, що використовується при складальних роботах.

51. Охарактеризуйте механізований інструмент, що використовується для припасування робіт.

52. Охарактеризуйте механізований інструмент для складання різальних з'єднань.

53. Охарактеризуйте механізований інструмент для складання клепаних з'єднань.

54. Наведіть класифікацію пристроїв, що використовуються при складанні виробів, дайте їх коротку характеристику.

55. Охарактеризуйте основні фактори, що впливають на вибір пристрою тієї чи іншої системи.

56. У якому порядку проектуються складальні пристрої?

57. Перелічіть основне технологічне складальне обладнання, дайте його коротку характеристику.

58. Перелічіть основне допоміжне складальне обладнання, дайте його коротку характеристику.

59. За якими критеріями оцінюється техніко-економічна ефективність технологічного процесу складання виробу?

60. Запишіть формулу вартості виконання операції, розкрийте її складові.

61. Запишіть формулу собівартості виконання повузлового та загального складання, розкрийте її складові.

62. Як розраховуються витрати по заробітній платі основних робітників?

63. Як розраховуються витрати по додатковій заробітній платні основних робітників?

64. Як розраховуються сумарні річні витрати по заробітній платні основних робітників?

65. Як розраховуються витрати по прямій заробітній платі допоміжних робітників?

66. Як розраховуються сумарні річні витрати по заробітній платні допоміжних робітників?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М., 1969. – 559 с.

2. Боровик А.І. Проектування технологічного оснащення. – К., 1996. – 488 с.

3. Дипломное проектирование по технологии машиностроения / Под ред. В.В. Бабука. – Минск: Вышейшая школа, 1979. – 464 с.

4. Допуски и посадки: Справочник / Мягков В.Д., Палей М.А., Романов А.Б и др. – Л. – М. 1982. Т. 1. – 543 с; Т. 2. – 446 с.

5. Ковшов А.Н. Технология машиностроения. – М., 1987. – 320 с.

6. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.–М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

7. Научные основы автоматизации сборки. / Под. ред. М.П. Новикова. – М., 1976. – 472 с.

8. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – М., 1980. – 542 с.

9. Общемашиностроительные нормативы на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные роботы по сборке машин и приборов в условиях малого и среднесерийного типов производства. – М.: НИИ Труда, 1982. – 207 с.

10. Общемашиностроительные нормативы на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Мелкосерийное и единичное производство. – М., 1974. – 219 с.

11. Оформлення технологічних документів у курсових і дипломних проектах / Укл. П.О. Руденко – ЧІТІ, 1993. – 64 с.

12. Проектирование технологи / Под общ. ред. Соломенцева Ю.М. – М., 1990. – 446 с.

13. Размерный анализ конструкций: Справочник / Под общ. ред. Бондаренко С.Т. – Киев: Техника, 1989. – 150 с.

14. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів. – К: Вища школа, 1993. – 414 с.

15. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування. – Луцьк, 1996. – 300 с.

16. Руководство к дипломному проектированию по технологии машиностроения, металлорежущим станкам и інструменту / Под общ. ред. Худобина Л.В. – М., 1986. – 288 с.

17. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М., 1980. – 110 с.

18. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. Т. 2. – М., 1986. – 496 с.

19. Технологичность конструкции изделия: Справ очник / Под общ. ред. Амирова Ю.Д. – М., 1990. – 768 с.

20. Технология машиностроения (специальная часть) / Гусев А.А., Ковальчук Е.О., Колосов И.М. и др. – М., 1986. – 480 с.

21. Худобин Л.В., Гурьянихин В.Ф., Берзин В.Р. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – М., 1989. – 288 с.

22. Экономика и организация производства в дипломных проектах / Под ред. К.М. Великанова. – Л. – М, 1986. – 285 с.

Тема 12. Проектування одиничних технологічних процесів механічної обробки деталей

Загальні відомості

Технологічне проектування представляє собою комплекс проектно-розрахункових робіт, в який входить проектування власне технологічного процесу, пристроїв, різального, вимірювального і допоміжного інструменту, іноді нестандартного обладнання, різних стендів тощо.

Проектування технологічних процесів, як правило, здійснюється в декількох варіантах і потім, на основі вибраних критеріїв оптимальності, приймається найкращий з них. У більшості випадків такими критеріями є надійність процесу виготовлення всіх деталей у відповідності з кресленням і мінімальні зведені витрати на виготовлення деталей.

Виходячи з досвіду, всі види проектно-розрахункових робіт можуть бути умовно поділені на декілька етапів. Зміст етапів проектування технологічного процесу значно відрізняється в залежності від того, буде він здійснюватись на існуючому обладнанні чи припускається все обладнання замовляти спеціально для виготовлення даної деталі.

У навчальному процесі припускається останній варіант, коли все обладнання буде замовлятись. Тому його призначення і вибір повинні бути економічно і технічно обґрунтованими.

В даному підручнику пропонуються такі етапи розробки технологічного процесу виготовлення деталі:

перший – підготовка і вивчення вихідних даних;

другий – формулювання основних технологічних задач та прийняття попередніх технологічних рішень;

третій – логічна оцінка варіантів технологічних процесів та вибір найбільш прийнятного;

четвертий – розмірний аналіз прийнятого варіанта технологічного процесу та його уточнення;

п'ятий – вибір обладнання, технологічного оснащення та виконання нормативно-розрахункових робіт;

шостий – розробка технічних завдань на проектування спеціального обладнання, пристроїв, інструменту, розробка норм витрат матеріалу;

сьомий – визначення економічної ефективності технологічного процесу;

восьмий – впровадження технологічного процесу у виробництво.

12.1. Підготовка і вивчення вихідних даних (перший етап розробки технологічного процесу виготовлення деталі)

На цьому етапі розв'язуються такі задачі:

- формулювання службового призначення деталі та основних вимог до неї;
- вибір та обґрунтування матеріалу деталі, призначення термічної обробки;

- розробка технічних вимог на параметри точності деталі, виходячи зі службового призначення;
- виконання креслення деталі та проставлення розмірів і параметрів якості поверхонь;
- кодування деталі та визначення її загальних показників;
- аналіз виробничої програми, визначення типу виробництва та його організаційної форми;
- аналіз технологічності конструкції деталі;
- попередній вибір заготовки і методу її одержання.

12.1.1. Формулювання службового призначення деталі та основних вимог до неї

Службове призначення будь-якої деталі витікає зі службового призначення складальної одиниці, куди вона входить, і тією роллю, яку вона виконує при функціонуванні вузла (машини). Службове призначення деталі повинно відображати функцію, що на неї покладена, роль поверхонь у виконанні цих функцій, вимоги до параметрів міцності, вібростійкості, жорсткості, параметрів точності тощо. Службове призначення деталі, як і машини в цілому, повинно складатись з двох частин: загальної та уточнень.

Приклади формулювання загальної частини службового призначення деяких деталей [3]:

- *станини і рами,* призначені для координації основних вузлів і механізмів машин, а в деяких випадках і для спрямованості їх руху;
- *корпусні деталі,* призначені для забезпечення сталої точності відносного розташування деталей і механізмів як у статичному стані, так і в процесі експлуатації машин, а також плавність їх роботи і відсутність вібрацій;
- *вали, шпинделі,* призначені для орієнтації деталей, які вони несуть у складальній одиниці, і надання деталям обертового руху з визначеною швидкістю та крутним моментом;
- *важелі,* призначені для передачі сили сполученим деталям для переміщення їх з належною швидкістю або фіксації положення;
- *зубчасті колеса,* які служать для передачі крутного моменту від одного вала до іншого зі зміною або без зміни швидкості обертання;
- *колінчасті вали,* які служать для перетворення поступального руху в обертальний або навпаки;
- *шатуни двигунів,* які служать для перетворення зворотно-поступального руху поршня на обертальний рух шийки колінчастого вала.

Але повнота формулювання службового призначення деталі полягає в його уточненнях, які виражають словами і кількісно з допустимими відхиленнями.

До уточнень службового призначення деталі можна віднести: матеріал, з якого вона виготовлена; необхідна термічна обробка; якість поверхонь, виражена в геометричних та фізико-механічних параметрах; точність розмірів, поворотів, точність взаємного положення поверхонь тощо.

Спочатку описується конструкція та функції виробу чи складальної одиниці, в яку входить деталь, що задана для проектування технологічного процесу. Далі

наводяться конструктивні особливості деталі, функціональне призначення її поверхонь, визначаються основні та допоміжні конструкторські бази деталі, аналізується вплив точності виготовлення деталі та шорсткості її поверхонь на роботу машини.

З аналізу функції деталі у вузлі, умов її роботи, функції її поверхонь формулюється службове призначення деталі, яке повинно бути чітким і за можливістю з необхідними кількісними показниками.

Приклад формулювання службового призначення корпусної деталі складальної одиниці – редуктора конвеєра – показаний на рис. 12.1.

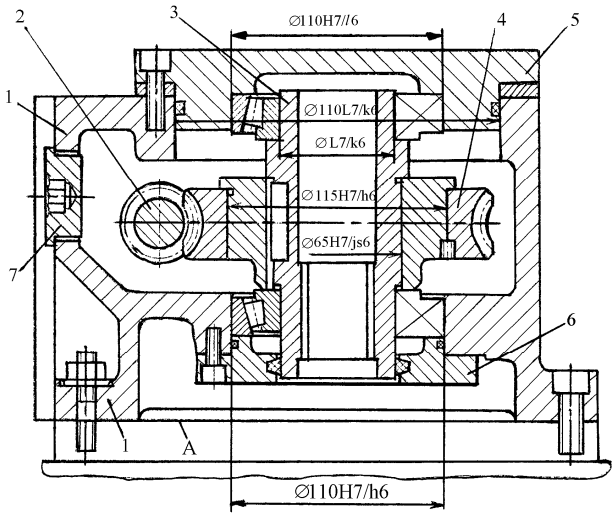


Рис. 12.1. Редуктор конвеєра.

На цьому рисунку показано редуктор конвеєра, який використовується в системі видалення стружки на автоматичних лініях. Корпус 1 є базовою деталлю, що забезпечує потрібну точність відносного положення черв'яка 2, вала 3, на якому встановлене черв'ячне колесо 4. На корпусі базуються також фланці 5, 6, заглушка 7.

Основною базуючою поверхнею корпусу, по якій його встановлюють на станину, є площина А. Поверхні головних отворів і торців, на яких базуються підшипники і фланці, є допоміжними базами корпусу. Різьові отвори на корпусі забезпечують кріплення приєднуваних до нього деталей і вузлів.

У зв'язку з тим, що в корпусі розташований силовий механізм з високими точнісними вимогами щодо взаємного розташування елементів черв'ячного зчеплення, до корпусу потрібно висунути наступні вимоги: висока міцність, жорсткість, вібростійкість, висока точність взаємного розташування основних і допоміжних баз. Орієнтуючись на ці вимоги, вибирають відповідний матеріал і призначають термічну обробку. Конкретні кількісні показники точності можна визначити побудовою та розв'язанням відповідних розмірних ланцюгів складальної одиниці.

12.1.2. Вибір та обґрунтування матеріалу деталі. Призначення термічної обробки

Виходячи зі службового призначення, умов експлуатації та виробничого досвіду, вибирають матеріал із вказанням його хімічного складу, механічних і технологічних властивостей. У подальшому, при виборі заготовки і економічному обґрунтуванні, може виявитись необхідність заміни матеріалу, але ця заміна проводиться, як правило, для покращення технологічних властивостей матеріалу, і не допускається зниження механічних властивостей.

Відповідно до вибраного матеріалу, вибирають і дають коротку характеристику термічній обробці, яка забезпечувала б задані конструктором технічні вимоги до твердості, структури тощо.

12.1.3. Розробка технічних вимог на параметри точності деталі, виходячи зі службового призначення

Технічні вимоги і норми точності деталі витікають зі службового призначення машини і є результатом перетворення якісних і кількісних показників службового призначення машини в показники розмірних зв'язків її виконавчих поверхонь. Деталь зі своїми розмірами – ланками входить у розмірні зв'язки машини, і тому точнісні параметри деталі визначаються з розв'язання складальних розмірних ланцюгів.

Перехід від службового призначення машини до показників зв'язків поверхонь деталей розглянемо на прикладі складальної одиниці, зображеної на рис. 12.2 [3].

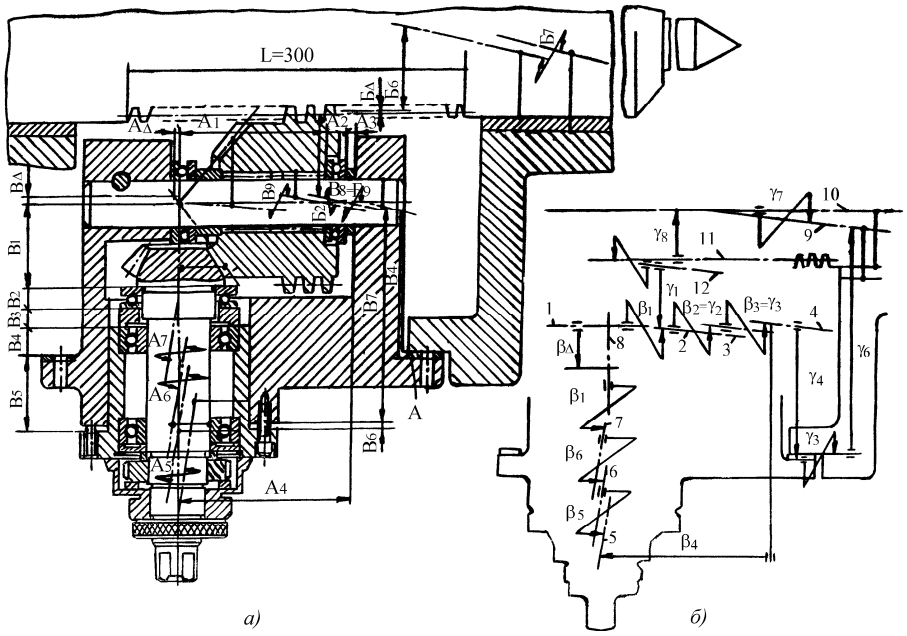


Рис. 12.2. Механізм переміщення пінолі задньої бабки

Потрібно визначити параметри точності корпусу механізму переміщення пінолі задньої бабки токарного напівавтомата (рис. 12.2).

Цей корпус забезпечує необхідну точність відносного положення двох конічних зубчастих коліс, через які відбувається передача крутного моменту до пари черв'як-рейка, які здійснюють осьове зміщення пінолі на L = 300 мм. Основною базою корпусу є площина А і два отвори діаметром 10Н7. При цьому досягається необхідна точність положення черв'яка відносно зубчастої рейки, розміщеної на пінолі задньої бабки, що забезпечує потрібну якість їх зчеплення.

При коловій швидкості зубчастого колеса менше 2 м/с ступінь точності зубчастих передач, що відповідає вимогам службового призначення механізму, складає: для конічних коліс – 9С згідно з ГОСТ 1758; для черв'ячної пари – 8С згідно з ГОСТ 3675.

Щоб забезпечити потрібну точність зчеплення конічних коліс, необхідно забезпечити збігання вершин і потрібний кут перетину осей ділильних конусів. Збігання вершин ділильних конусів залежить від осьового зміщення вінця колеса і шестірні. Колесом у даному випадку є вал-шестерня, а роль шестерні виконує шестерня-втулка. Згідно з ГОСТ 1756 для конічної передачі 9-го ступеня точності (середній модуль m_n = 3,5) граничні осьові зміщення зубчастого вінця для колеса з кутом ділильного конуса $\varphi = 30°$ і середньою конусною відстанню R > 50 мм складають $f_{AM} = \pm$ 0,12 мм, а для шестерні з кутом $\varphi = 60° - f_{AM} = \pm 0{,}05$ мм. Точність кута перетину β_Δ осей ділильних конусів залежить від відхилення міжосьового кута передачі. Згідно з ГОСТ 1758 граничне відхилення міжосьового кута розглянутої передачі, що має вигляд з'єднання С, середню конусну відстань R > 100 мм і кут ділильного конуса шестерні $\varphi = 60°$, складає $E_\Sigma = 0{,}032$ мм.

На рис. 12.2, *а* наведені схеми розмірних ланцюгів, що визначають збігання вершин ділильних конусів у горизонтальному напрямку:

$$A_\Delta = -A_1 - A_2 - A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7$$

і у вертикальному напрямку:

$$B_\Delta = -B_1 - B_2 - B_3 - B_4 - B_5 + B_6 + B_7 + B_8 + B_9.$$

Аналіз розмірних зв'язків показує, що при розв'язанні задачі зміщення вершин ділильних конусів корпус приймає участь розмірами A_4 і B_7. Ці розміри визначають точність відстані між головними отворами і плоскими поверхнями, що виконують функції допоміжних баз корпусу.

При досягненні точності за методом повної взаємозамінності середній допуск на складові ланки складає за формулою:

$$T_{cep} = T_\Delta/(m - 1)$$

– для ланцюга А:

$$T_{Acep} = 0{,}10/(8 - 1) = 0{,}014 \text{ мм};$$

– для ланцюга В:

$$T_{Bcep} = 0{,}24/(10 - 1) = 0{,}026 \text{ мм}.$$

Жорсткі значення одержаних допусків за наявності багатоланкових ланцюгів змушують переходити на інший метод досягнення точності. При методі неповної взаємозамінності середній допуск можна розрахувати за формулою:

$$T_{cep} = T_\Delta/t\ \sqrt{\lambda^2(m-1)}\ .$$

Для умов серійного виробництва при $\lambda^2 = 1/6$ і t = 3 одержимо:

$$T_{Acep} = 0{,}10/3\ \sqrt{1/6 \cdot (8-1)}\ = 0{,}03 \text{ мм};$$

$$T_{Bcep} = 0{,}24/3\sqrt{1/6\cdot(10-1)} = 0{,}065 \text{ мм}.$$

Як видно, перехід на метод неповної взаємозамінності дозволив більше як у два рази розширити значення середніх допусків. Однак одержані середні допуски все ще є досить жорсткими, тому економічно доцільно перейти до методу регулювання. Аналіз розмірних зв'язків показує, що в конструкції механізму для розв'язання таких задач вже закладено метод регулювання.

У розмірному ланцюгу А роль нерухомого компенсатора виконує ланка A_3 (проміжне кільце), а в ланцюгу В – ланка B_6 (роль рухомих компенсаторів виконують три регульованих гвинти).

Приймаємо всі складові ланки, в тому числі і на розміри корпусу A_4, B_7, які належать до корпусу, економічно доцільні допуски (табл. 12.1)

Таблиця 12.1

Розмірні параметри ланок ланцюгів А і В

	Ланка								
Параметр	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7		
Номінальні значення	62	11	5	78	0	0	0		
+0,01 -0,01		0,00 -0,1	0,00 -0,01	+0,04 -0,04	+0,005 -0,005	+0,005 -0,005			
Допуск	0,14	0,1	0,01	0,08	0,01	0,01	0,02		
	Ланка								
Параметр	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9
Номінальні значення	42	11	7	15	41	4	112	0	0
Допуск	0,15	0,1	0,05	0,1	0,2	$T_{ком}$	0,6	0,02	0,02

За залежностями

$$T_{\Delta p} = \sum_{i=1}^{m-1} / Ci / Ti$$

та

$$\Delta o_{\Delta p} = \sum_{i=1}^{m-1} Ci\Delta_{oi}$$

визначимо для розмірного ланцюга А розрахункові значення допуску і координати середини поля допуску замикальої ланки (із врахуванням компенсуючої ланки):

$T_{\Delta p} = 0{,}14 + 0{,}1 + 0{,}01 + 0{,}08 + 0{,}01 + 0{,}01 + 0{,}02 = 0{,}37$ мм;

$\Delta o_{\Delta p} = 0 + 0 + 0 + 0 - (-\,0{,}07 - 0{,}05 - 0{,}005) = 0{,}125$ мм.

За формулою $\delta_к = T_{\Delta p} - T_\Delta$ визначимо найбільшу розрахункову компенсацію:

$\delta_к = 0{,}37 - 0{,}1 = 0{,}27$ мм.

Максимальний розмір проміжного кільця визначимо за формулою:

$$\leftarrow$$

$$Ao_в = Ак + \Delta o_к + \Delta o_{\Delta p} - \Delta o_\Delta + 0{,}5\delta_к;$$

$$\leftarrow$$

$$Ao_в = 5 + (-0{,}005) + 0{,}125 - 0 + 0{,}5 \cdot 0{,}27 = 5{,}255 \text{ мм}.$$

Приймаємо $T_{cm} = T_\Delta = 0{,}1$ мм.

За формулою $N = \delta_к/T_{cm} + 1 = \delta_к/T_\Delta + 1$ знаходимо число ступенів розмірів проміжного кільця:

$$N = \frac{0{,}27}{0{,}1} + 1 = 3{,}7.$$

Приймаємо N = 4. У зв'язку з округленням числа ступенів їх крок зменшуємо, прийнявши:

$$T_{cm} = \frac{\delta_к}{N-1} = \frac{0{,}27}{0{,}1} = 0{,}09 \text{ мм}.$$

Розміри проміжних кілець ступенів визначають за формулою:

$$Ак_n = Ао_н \pm 0{,}5Тк;$$

$$Ак_1 = 5{,}255 \pm 0{,}005 = 5\,^{+0{,}26}_{-0{,}25};$$

$$Ак_2 = (5{,}255 - 0{,}09) \pm 0{,}005 = 5{,}165 \pm 0{,}005 = 5\,^{+0{,}17}_{+0{,}16};$$

$$Ак_3 = (5{,}255 - 2 \cdot 0{,}09) \pm 0{,}005 = 5{,}075 \pm 0{,}005 = 5\,^{+0{,}08}_{+0{,}07};$$

$$Ак_4 = (5{,}255 - 3 \cdot 0{,}09) \pm 0{,}005 = 4{,}985 \pm 0{,}005 = 5\,^{-0{,}01}_{-0{,}02}.$$

Таким чином, потрібна точність замикальної ланки в розмірному ланцюгу А досягається підбором із чотирьох груп необхідного кільця-компенсатора, а в розмірному ланцюгу В – зміщенням в осьовому напрямку стакана з валом-шестернею. Забезпечення необхідної точності збігання вершин ділильних конусів з метою одержання правильного зчеплення конічних коліс вимагає виконання для корпусу ряду технічних вимог, пов'язаних з точністю головних отворів і одержанням відповідної точності розмірів між осями головних отворів і плоскими поверхнями:

$A_4 = 78 \pm 0{,}04$ мм; $B_7 = 112 \pm 0{,}3$ мм.

У розмірному ланцюгу β (див. рис. 9.2, *б*), що визначає кут перетину осей ділильних конусів:

$$\beta_\Delta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - \beta_4 - \beta_5 - \beta_6 - \beta_7,$$

корпус приймає участь ланкою β_4, яка характеризує точність повороту одного головного отвору відносно іншого.

Для розглянутої ортогональної конічної передачі 9С згідно з ГОСТ 1758-81 граничне відхилення міжосьового кута $E_\Sigma = \pm 0{,}03$ на довжині середньої конусної відстані L = 50 мм. Допуск і граничні відхилення замикальної ланки β_Δ дорівнює $T\beta_\Delta = 0{,}12/100$, $\Delta в_{\beta\Delta} = +0{,}06/100$, $\Delta н_{\beta\Delta} = -0{,}06/100$. При досягненні необхідної точності β_Δ методом повної взаємозамінності середній допуск на складові ланки рівний:

$$T\beta i_{сер} = \frac{0{,}12}{8-1} = 0{,}017/100.$$

Виходячи зі службового призначення деталей вузла і середнього допуску, приймаємо наступні параметри ланок розмірного ланцюга (табл. 12.2)

Таблиця 12.2

Параметри ланок розмірного ланцюга β (рис. 12.2, *г*, *б*)

Параметр	Ланки			
	β_1	β_2	β_3	β_4
Граничні відхилення	±0,01/100	±0,005/100	±0,005/100	±0,015/100
Допуск	0,02/100	0,01/100	0,01/100	0,03/100
Параметр	Ланки			
	β_5	β_6	β_7	
Граничні відхилення	±0,01/100	±0,005/100	±0,01/100	
Допуск	0,02/100	0,01/100	0,02/100	

Тоді:

$$T\beta_\Delta = 0{,}02/100 + 0{,}01/100 + 0{,}01/100 + 0{,}03/100 + 0{,}02/100 + + 0{,}01/100 + 0{,}02/100 = 0{,}12/100.$$

Значення граничних відхилень відповідно такі:

– верхнього:

$$\Delta в_{\beta\Delta} = 0{,}01/100 + 0{,}005/100 + 0{,}005/100 - -0{,}015/100 - 0{,}01/100 - 0{,}005/100 - 0{,}01/100 = 0{,}06/100;$$

– нижнього:

$$\Delta н_{\beta\Delta} = -0{,}01/100 - 0{,}005/100 - 0{,}005/100/- -/0{,}015/100 + 0{,}01/100 + 0{,}005/100 + 0{,}01/100 = -0{,}06/100.$$

Таким чином, з розв'язку задачі досягнення необхідного кута перетину осей ділильних конусів конічної передачі (в якій корпус бере участь ланкою β_4) витікає параметр корпусу, що визначає поворот (перпендикулярність) осі отвору діаметром 62Н7 відносно осі отвору діаметром 25Н7:

$$T\beta_4 = 0{,}03/100;\ \Delta в_{\beta4} = 0{,}015/100;\ \Delta н_{\beta4} = -0{,}015/100.$$

Необхідна точність зчеплення черв'яка і рейки досягається при збіганні ділильного циліндра черв'яка і ділильної площини рейки (ланка $Б_\Delta$ на рис. 12.2, *а*) і паралельності твірної ділильного циліндра черв'яка і ділильної площини рейки (ланка γ_Δ на рис. 12.2, *б*). Необхідна точність зчеплення забезпечується розмірними ланцюгами Б і γ:

$$Б_\Delta = -Б_1 - Б_2 - Б_3 - Б_4 + Б_5 + Б_6 - Б_7 - Б_8;$$

$$\gamma_\Delta = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5 + \gamma_6 - \gamma_7 - \gamma_8.$$

Для черв'ячної передачі 9-го ступеня точності допуски на ланки $Б_\Delta$ і γ_Δ згідно з ГОСТ 3675, мм:

$$TБ_\Delta = 0{,}26;\quad \Delta в_{Б\Delta} = 0{,}13;\quad \Delta н_{Б\Delta} = -0{,}13;\quad T\gamma_\Delta = 0{,}11/100;$$

$$\Delta в_{\gamma\Delta} = 0{,}055/100;\quad \Delta н\gamma_\Delta = -0{,}055/100.$$

При розв'язанні цих задач корпус бере участь ланкою $Б_4$ (56±0,03 мм), що визначає відстань від осі головного отвору до площини А, яка виконує роль основної встановлюваної бази, і ланкою γ_4 ($T\gamma_4 = 0{,}02/150$), яка характеризує поворот осі отвору відносно основної бази. Точність замикальної ланки Б досягається при складанні методом регулювання з використанням нерухомих компенсаторів $Б_5$. У цьому випадку розмір корпусної деталі $Б_4$ необхідно забезпечити з точністю $T_{Б4}$ =0,06 мм. Точність відносного повороту γ_Δ забезпечується за методом повної

взаємозамінності, при цьому у корпусі (ланка γ_4) відхилення від паралельності осі отвору відносно площини не повинно перевищувати $T\gamma_4 = 0{,}03/100$. Для утворення правильного зчеплення черв'ячної передачі необхідно також збігання середніх площин черв'яка і рейки Γ_Δ (допустимі граничні відхилення ±0,1 мм). У розв'язанні цієї задачі корпус бере участь розміром, який визначає точність збігання осі отвору під вал черв'яка діаметром 25Н7 з віссю базового центруючого отвору діаметром 10Н7. Осі отвору діаметром 25Н7 і базового отвору діаметром 10Н7 повинні розміщуватись в одній площині (допустимі відхилення – ± 0,06 мм).

На рис. 12.3 показане креслення корпусу і технічні вимоги, обумовлені його службовим призначенням.

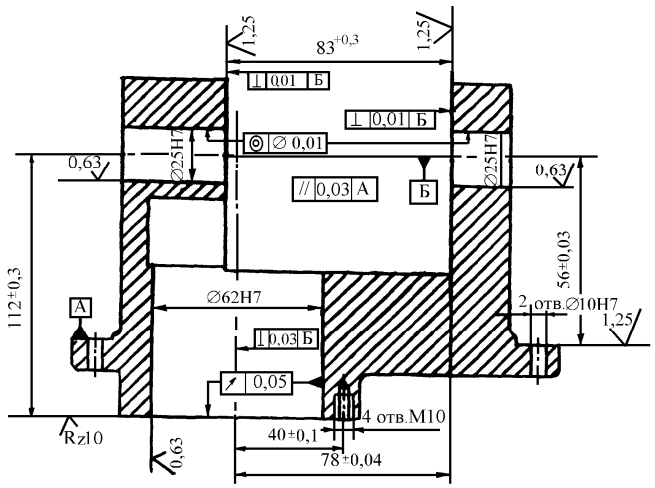


Рис. 12.3. Корпус механізму переміщення пінолі.

Викладена методика розрахунку технічних вимог на деталь складна і трудомістка, тому на практиці часто технічні вимоги на виготовлення деталі призначають із врахуванням досвіду і середньої точності обробки, а відповідальні параметри перевіряють розрахунком відповідних розмірних ланцюгів складальної одиниці.

Технічні вимоги на виготовлення деталі, одержані будь-яким способом, розрахунком чи призначені з досвіду, перед розробкою технологічного процесу мають бути ретельно проаналізовані на відповідність службовому призначенню і на можливість їх забезпечення механічною обробкою.

Критичний аналіз технічних вимог проводять, як правило, у таких напрямках [24]:

- наскільки ті чи інші вимоги (ТУ) сприяють правильному виконанню деталлю її службового призначення;
- що буде, якщо дані ТУ буде порушено;
- наскільки правильно задані значення ТУ, що розглядаються?;
- достатність вимог, що наведені в кресленні;
- наскільки задана якість поверхні деталі відповідає її службовому призначенню;
- Якими технічними способами буде забезпечене виконання кожної вимоги і якими методами і засобами вони контролюються?

12.1.4. Виконання креслення деталі та проставлення розмірів і параметрів якості поверхонь

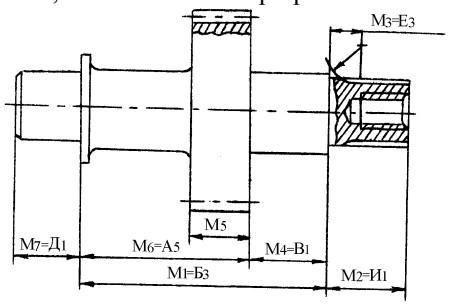
Креслення деталі вилучається з креслення складальної одиниці і виконується у відповідності з загальними правилами виконання згідно стандартів ЄСКД.

Взаємне розташування поверхонь деталі можна задати на кресленнях різними системами розмірів, забезпечивши при цьому різну точність.

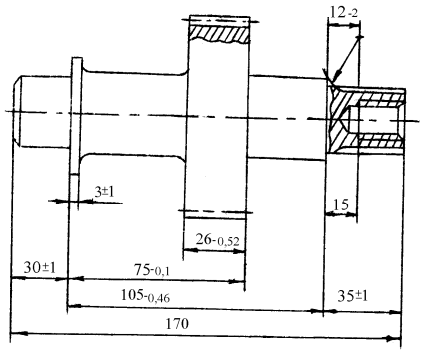
Проставлення розмірів і допусків на кресленні деталі повинно відображати вимоги, що ставляться до деталі, виходячи з її службового призначення, і забезпечувати можливість виготовлення деталі простими технологічними методами, за допомогою яких може бути досягнуто виконання вимог, що висуваються до неї із врахуванням конструкції машини.

Дотримання першої умови забезпечується виявленням розмірних зв'язків поверхонь деталі на основі розмірного аналізу механізму, другої – правильним вибором допусків для розмірів, що входять в складальні розмірні ланцюги, завдяки правильному вибору методу досягнення точності замикальної ланки.

Наприклад, попереднє проставлення розмірів вала вентилятора (рис. 12.4, *а* [21]) виконується на основі розмірного аналізу цього механізму шляхом вибірки зі складальних розмірних ланцюгів поздовжніх розмірів, що належать валу. На рис. 12.4, *б* показано остаточне проставлення розмірів вала з числовими значеннями і граничними відхиленнями, встановленими при розв'язанні складальних ланцюгів.



а)



б)

Рис. 12.4. До проставлення поздовжніх розмірів вала

При відпрацюванні розмірів вала виключено розмір M_4 як замикаючу ланку подетального розмірного ланцюга, що визначається рівнянням:

$$M_4 = M_\Delta = M_1 - M_6,$$

додано ширину буртика (3±1 мм) і загальну довжину вала (170 мм).

Проставлення розмірів і допусків на робочих кресленнях деталей (формування розмірних зв'язків поверхонь) потребує деференційованого підходу і виражається низкою правил [21].

Основні правила проставлення розмірів і допусків на робочих кресленнях деталей

Правило 1. На кресленні повинні обов'язково проставлятися розміри з'єднань і розміри, що входять в складальні ланцюги. Решта розмірів проставляється виходячи із забезпечення можливості виготовлення деталі (рис. 12.4).

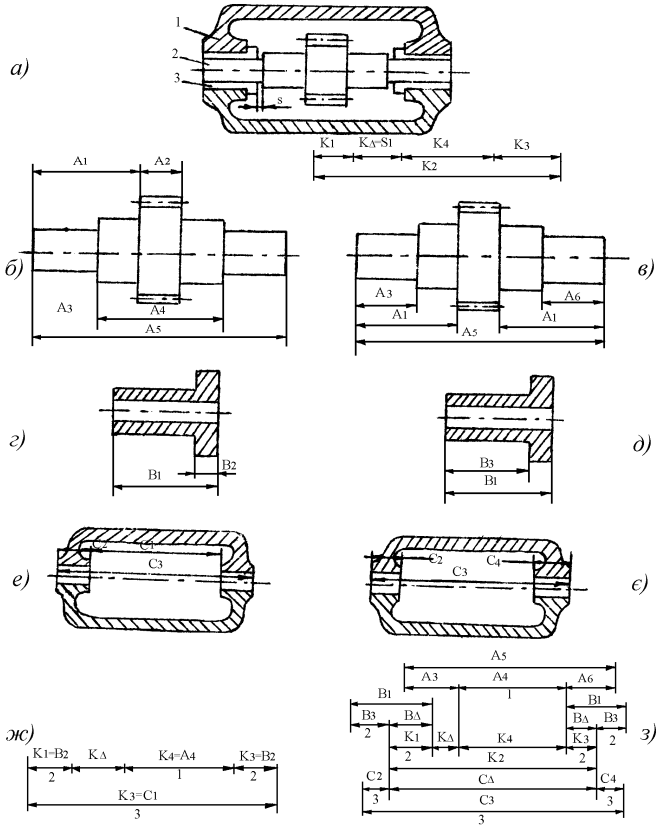


Рис. 12.5. До вибору варіанта проставлення на кресленні розмірів деталей механізму: а – схеми механізму та його найкоротшого складального розмірного ланцюга; б, в – варіанти проставлення розмірів вала 2; г, д – варіанти проставлення розмірів для втулки 3; е, є – варіанти проставлення розмірів для корпусу 1; ж, з – складальні розмірні ланцюги

Правило 2. Проставлення на кресленні розмірів деталей повинно забезпечувати одержання найкоротших складальних ланцюгів механізму, в яких число складових ланок дорівнює числу з'єднуваних деталей. Наприклад, нормальна робота механізму (легкість обертання шестерні), (рис. 12.5, *а*) забезпечується наявністю певного зазору S між упорними площинами вала 2 і торцями втулок 3. Розміри деталей механізму можуть бути задані по-різному.

Іноді важко визначити, як доцільніше проставляти розміри деталей. Це дозволяє зробити аналіз складальних розмірних ланцюгів. Наприклад, при проставленні розмірів за варіантом 1 (рис. 12.5, б, *г*, *е*, *ж*) розмірний ланцюг, що виражає сумарну похибку зазору $К_Δ$, включає чотири складових ланки: $А_4$, $В_2$, $С_1$ і $В_2$. За варіантом 2 (рис. 12.5, *в*, *д*, *є*, *з*) кількість розмірів, що впливають на значення зазору $К_Δ$, збільшується до десяти: $А_3$, $А_5$, $А_6$, $В_1$, $В_3$, $С_2$, $С_3$, $С_4$, $В_3$ і $В_1$. Якщо припустити для порівняння однакову точність виконання всіх розмірів ланцюга, наприклад, за 11-м квалітетом точності, і виконати розрахунок за методом максимуму-мінімуму, то зазор $К_Δ$ при заданих в механізмі номінальних розмірах у першому випадку складає 0,4, а у другому – 1,64 мм.

В розглянутому прикладі проставлення розмірів деталей за варіантом 1 забезпечує принцип найкоротших ланцюгів – число складових ланок дорівнює числу з'єднуваних деталей вузла.

Правило 3. Кількість розмірів на кресленні повинно бути достатнім для виготовлення та контролю деталі.

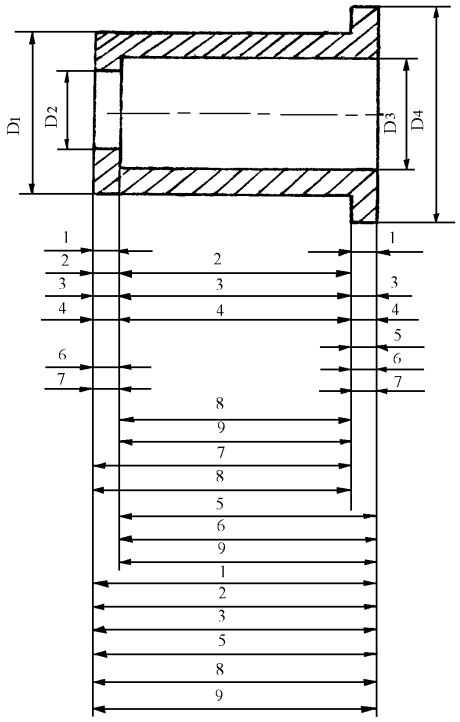


Рис. 12.6. Схема стакана з різними варіантами проставлення його поздовжніх розмірів

Для кожної деталі існує цілком визначене число розмірів, що складають її повну розмірну характеристику. Можна по-різному змінювати проставлення розмірів, але завжди необхідна кількість їх для даної конкретної деталі є постійною. Наприклад, для стакана (рис. 12.6) існує дев'ять варіантів проставлення його осьових лінійних розмірів. Як видно з рисунка, при всіх варіантах число розмірів (осьових і діаметральних), які повністю визначають форму стакана, залишається незмінними і дорівнює семи.

Правило 4. Кожний розмір потрібно давати на кресленні лише один раз.

Правило 5. Ланцюг розмірів на кресленні деталі не повинен бути замкненим.

Розміри на кресленні деталі складають подетальний розмірний ланцюг. Складові розміри цього ланцюга одержують на певних технологічних переходах (операціях). Замикальний розмір визначається в результаті виконання всіх технологічних переходів. В цьому розмірі накопичуються похибки складових розмірів, що виникають при виготовленні деталі. Тому як замикальний вибирають найменш відповідальний розмір деталі, який на кресленні не проставляють, і подетальний розмірний ланцюг залишається незамкненим.

Якщо замикальною ланкою є габаритний розмір, то його показують на кресленні як довідковий (див. рис. 12.4, *б,* розмір 170 мм). Довідкові розміри при виготовленні деталі не контролюють.

Правило 6. Проставлення розмірів повинно бути таким, щоб при виготовленні деталі найбільш точний її розмір мав найменшу накопичену похибку. Для цього застосовують ланцюговий, координатний і комбінований методи проставлення розмірів.

При ланцюговому методі розміри проставляють послідовно – ланцюгом (рис. 12.7, *а*, розміри A_1–A_4). При такому проставленні похибка, що одержується на кожному розмірі, не залежить від похибок попередніх розмірів, що є основною перевагою цього методу. Тому його застосовують при проставленні розмірів на міжосьових відстанях, в ступінчастих деталях, де потрібно одержати розміри ділянок між уступами та ін.

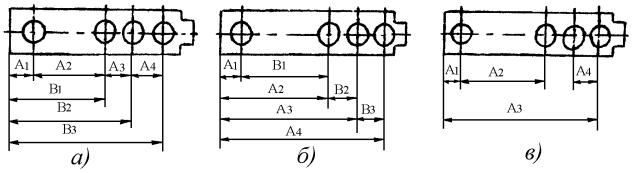


Рис. 12.7. Схеми розмірних ланцюгів, що побудовані з використанням різних методів нанесення розмірів

Точність сумарних розмірів B_1–B_3, які є замикальними ланками відповідних розмірних ланцюгів, визначається сумою похибок ланок, що входять в розмірний ланцюг:

$$\omega_{B1} = \omega_{A1} + \omega_{A2}; \quad \omega_{B2} = \omega_{B1} + \omega_{A3} = \omega_{A1} + \omega_{A2} + \omega_{A3};$$
$$\omega_{B3} = \omega_{B2} + \omega_{A4} = \omega_{A1} + \omega_{A2} + \omega_{A3} + \omega_{A4}.$$

При координатному методі розміри проставляють від однієї бази (рис. 12.7, *б*). Тому точність будь-якого з координатних розмірів A_1–A_4 не залежить від точності виконання інших розмірів. Цим методом користуються, коли необхідно точно розташувати елементи деталі відносно однієї бази. Недолік методу – деяке збільшення похибки розмірів B_1–B_3 між сусідніми елементами (в даному прикладі

між осями отворів).

Комбінований метод проставлення розмірів представляє собою поєднання ланцюгового і координатного методів (рис. 12.7, *в*). Його використовують для зменшення похибки більш відповідальних розмірів.

Правило 7. При проставленні розмірів потрібно враховувати характер виробництва і технологію оброблення деталі.

Методи задання розмірів на кресленнях впливають на технологічність конструкції, оскільки креслення накладає певні умови на технологічний процес і навпаки. Зокрема, між заданням розмірів на кресленні та послідовністю обробки деталей існує певний взаємозв'язок.

Метод взаємної координації поверхонь також істотно визначає тип різального інструменту, засоби вимірювання, конструкцію пристроїв і, головним чином, можливість роботи на налагодженому обладнанні. Так, координація дна паза від технологічної бази деталі 3 розмір А на рис. 12.8 визначає можливість роботи за налагодженням, тоді як задання розміру Б паза від верхньої площини відповідає роботі за методом пробних ходів з виконанням розміру за промірами.

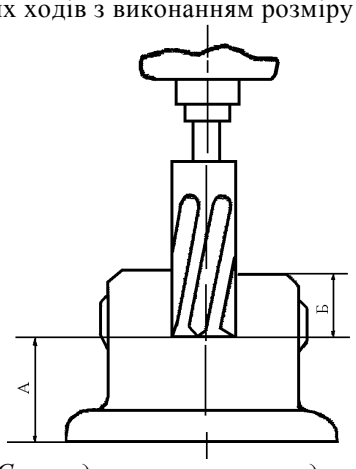


Рис. 12.8. Схема до визначення координації дна паза

При обробці вала на універсальному токарному верстаті технологічною базою є центрові отвори. Спочатку обробляють вал з одного боку, безпосередньо витримуючи розміри A_1–A_4 (рис. 12.9, *а*), потім отримують розміри A_5–A_7 (рис. 12.9, *б*). На рис. 12.9, *в* показані розміри вала, що відповідають даній технології.

При обробці валів на токарних верстатах з ЧПК технологічною базою є центрові отвори і лівий торець вала. Після чорнового точіння вал обробляють з одного кінця, витримуючи розміри A_1, A_2 (рис. 12.9, *г*). Обробляючи вал з другого кінця, отримують розміри A_3–A_6 (рис. 12.9, *д*). Розміри вала, що відповідають описаній технології, показані на рис. 12.9, *е*.

Обробку валів часто виконують на токарних гідрокопіювальних напівавтоматах. Технологічною базою в даному випадку є центрові отвори і лівий торець вала. При обробці кінця вала отримують розміри A_1 і A_2 (рис. 12.9, *є*), другого – A_3, A_4–A_6 (рис. 12.9, *ж*). Осьові розміри вала, що відповідають даній технології, показані на рис. 12.9, *з*.

Різне проставлення розмірів вала визначається відмінами технології його обробки.

Правило 8. На кресленнях розміри повинні бути проставлені так, щоб вони могли бути безпосередньо виконані в процесі обробки деталі без зміни баз і перерахунку допусків.

При будь-якій попередньо заданій на кресленні системі розмірів в процесі розробки технологічних операцій чи їх здійсненні бази проставлення розмірів можуть бути змінені у відповідності з прийнятим методом обробки деталі і технологічними базами. Проте за необхідності збереження заданих на кресленні допусків це неминуче призводить до зменшення допусків на обробку.

Більш технологічним є проставлення розмірів на кресленнях, яке передбачає умови технологічного процесу і тим самим виключає необхідність обробляти деталі за суттєво зменшеними технологічними допусками.

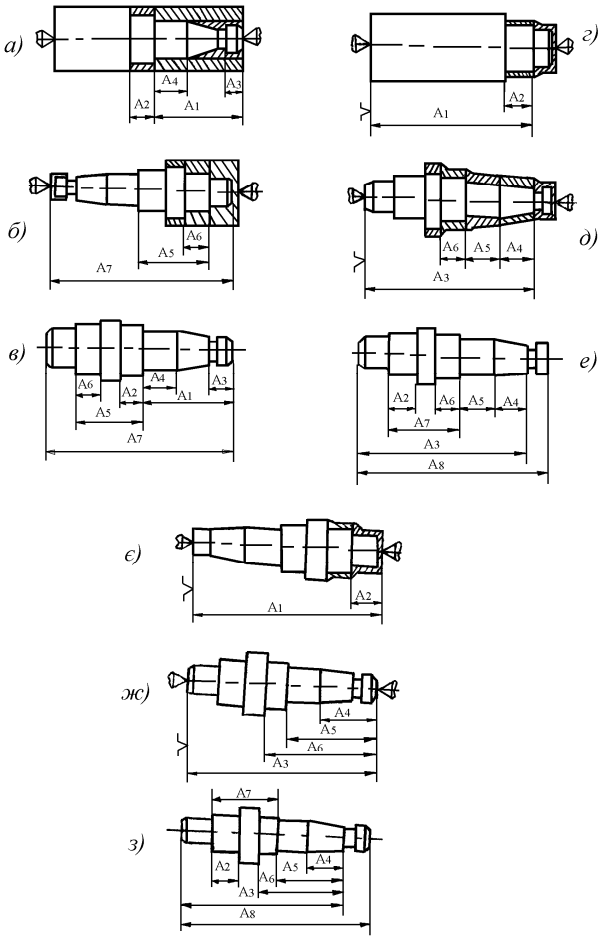


Рис. 12.9. До нанесення розмірів вала при різних схемах його обробки

Правило 9. Розміри, що визначають відстані між необроблюваними поверхнями, повинні замикатись між собою, утворюючи окремі (що не включають в себе інших розмірів) подетальні ланцюги.

Для деталей, що мають необроблювані поверхні, розрізняють дві системи розмірів: вихідної заготовки – сукупність розмірів, що зв'язують необроблювані поверхні; деталі – сукупність розмірів, що зв'язують оброблювані поверхні. У зв'язку з цим розміри, які визначають геометричні параметри таких деталей, можуть бути трьох видів: ті, що зв'язують дві необроблювані, дві оброблювані поверхні та оброблювану поверхню з необроблюваною.

Розміри першого виду утворюють систему розмірів вихідної заготовки, другого – систему розмірів деталі, третього – координують ці дві системи одну відносно другої.

Побудова кожної з вказаних систем підкоряється загальним, раніше викладеним принципам проставлення розмірів. При проставленні розмірів третього виду необхідно також враховувати послідовність різних стадій виготовлення деталі.

Системи розмірів необроблюваних і оброблюваних поверхонь повинні бути зв'язані одним розміром по кожній з координатних осей. Зв'язувати розмірами оброблювану і необроблювану поверхні допускається лише в тому випадку, коли остання є базою механічної обробки.

На рис. 12.10 показані різні варіанти проставлення розмірів на схемі виливаної деталі. Проставлення розмірів на рис. 12.10, *а* невірне, оскільки відстань між оброблюваними поверхнями, зв'язаними з необроблюваними сумою розмірів 15, 175 і 10 мм, в цьому випадку коливається в широких межах у зв'язку з коливанням розмірів необроблюваних поверхонь. Така ж помилка допущена на рис. 12.10, *б*, де відстань між оброблюваними поверхнями задана сумою розмірів (85 і 15 мм).

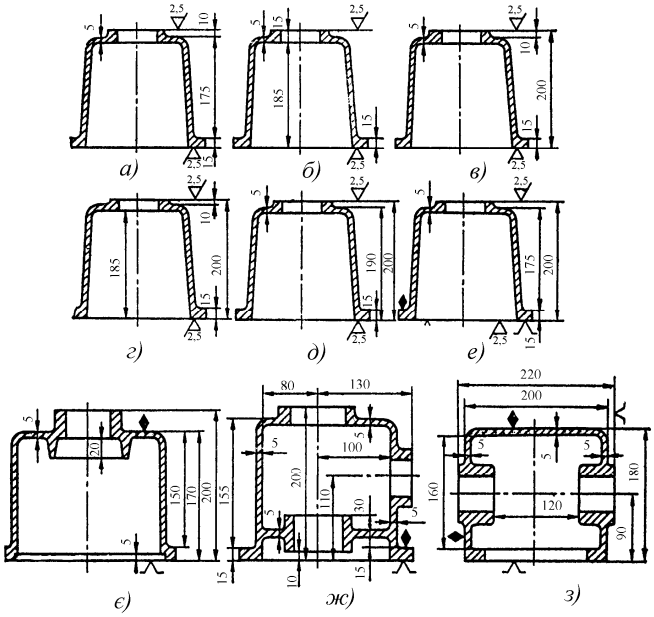


Рис. 12.10. До простановки розмірів на кресленнях литих деталей:

При проставленні розмірів у відповідності з рис. 12.10, *в*, відстань між оброблюваними поверхнями (200 мм) витримується в необхідних межах (в межах допуску на механічну обробку). Помилка полягає в тому, що необроблювані поверхні зв'язані з суміжними оброблюваними (розміри 15 і 10 мм). Витримати таку координацію практично неможливо. Положення необроблюваних поверхонь

коливається в межах точності лиття, а з ним коливається і відстань до оброблюваних площин.

На рис. 12.10, *г*, помилка збільшується тим, що товщина горизонтальної стінки (задана в попередніх випадках безпосередньо розміром 5 мм) визначається висотою внутрішньої порожнини, заданої відносно оброблюваної нижньої поверхні (розмір 185 мм). Таким чином, вводиться ще одне джерело похибки і товщина стінки буде коливатись в широких межах.

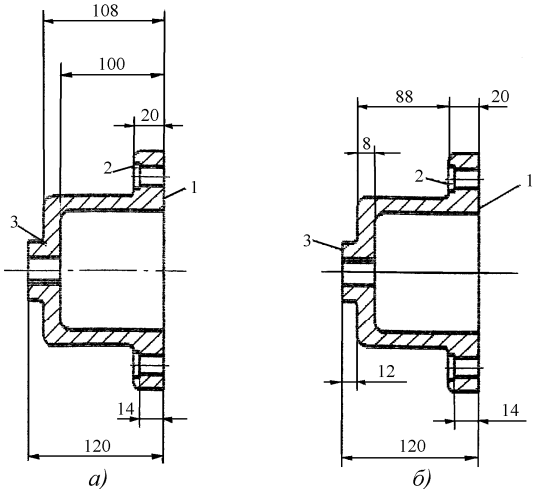
При проставленні розмірів, згідно з рис. 12.10, *д*, положення нижньої оброблюваної поверхні задане двома розмірами від необроблюваних поверхонь деталі (розміри 190 і 15 мм). Витримати таку координацію практично неможливо.

Рис. 12.10, *є* відповідає правильному проставленню розмірів. В цьому випадку за чорнову базу вибрано необроблювану поверхню фланця. З нею розміром 15 мм зв'язана база механічної обробки. З останньою розміром 200 мм зв'язана оброблювана верхня поверхня. Верхня необроблювана поверхня координується від ливарної бази (розмір 175 мм), а від верхньої поверхні – товщина верхньої стінки (розмір 5 мм).

Відстань між верхніми оброблюваною та необроблюваною поверхнями стає замикальною ланкою розмірного ланцюга і служить компенсатором відхилень розташування поверхонь, отриманих литтям.

Приклади правильного проставлення розмірів на схемах виливаних деталей наведені на рис. 12.10, *ж–і*.

Правило 10. Кожна оброблювана поверхня деталі може бути зв'язана розміром не більше, ніж з однією необроблюваною поверхнею. Це підтверджує приклад деталі, зображеної на рис. 12.11. Деталь виготовляється з виливка, причому механічній обробці піддається крім отворів поверхні 1, 3, і поверхня 2 під головки болтів. Аналіз проставлення розмірів на схемі деталі (рис. 12.11, *а*) показує, що внаслідок порушення правила 10 неможливо встановити, яку з необроблюваних поверхонь потрібно прийняти за технологічну базу при обробці поверхні 1, оскільки вона зв'язана з ними трьома розмірами (20; 100; 108 мм).



а) *б)*

Рис. 12.11. До проставлення розмірів на кресленнях деталі з необроблюваними поверхнями

Це призводить до невірного висновку про те, що отримувана при литті товщина стінки 8 мм (не показана на схемі) є замикальною ланкою подетального ланцюга, складовими ланками якого служать розміри 100 і 108 мм, що отримуються при механічній обробці.

При проставленні розмірів у відповідності з правилами 9 і 10 (рис. 12.11, *б*) за технологічну базу для обробки поверхні 1 потрібно використати протилежну їй поверхню фланця, тобто обробляти поверхню 1 за розміром 20. В цьому випадку товщина стінки 8 мм створює подетальний ланцюг з розмірами 88 і 80 мм, що зв'язують необроблювані поверхні. Розмір 80 на схемі не показаний, тобто він є замикальним. Такий варіант проставлення розмірів є найбільш раціональним.

Для забезпечення уніфікації та агрегатування виробів числові значення розмірів повинні бути узгоджені з числами найкращого застосування. Для досягнення взаємозамінності, уніфікації різального і вимірювального інструментів, підвищення технологічності конструкції при виконанні розмірних розрахунків необхідно застосовувати нормальні значення кутів і довжин (згідно з державними стандартами) і стандартні відхилення полів допусків.

Точність розташування поверхонь

Геометрична точність будь-якої деталі характеризується не тільки точністю окремих розмірів, але й точністю взаємного розташування поверхонь, що їх утворюють.

При призначенні технічних вимог з розташування поверхонь в кресленнях деталей необхідно керуватися такими правилами [11].

Правило 1. Для того щоб забезпечити однозначне положення бокових сторін деталі (чи заготовки), що представляє собою плоску фігуру з n сторонами і номінально прямими кутами, необхідно і достатньо задати в кресленні (n – 1)

технічних вимог розташування сторін, серед яких обов'язково повинна бути одна технічна вимога – допуск перпендикулярності двох сторін. Решта вимог можуть регламентувати або перпендикулярність, або паралельність інших сторін.

Примітки:

1. Вимога паралельності сторін може бути не задана безпосередньо, але тоді розуміється, що допуск паралельності дорівнює допуску на розмір між цими сторонами.

2. Мінімально необхідне число технічних вимог щодо розташування сторін для плоских фігур дорівнює одиниці – це допуск перпендикулярності двох сторін.

3. Правило 1 (з примітками 1, 2) відноситься не тільки до плоских фігур (деталей), але й до плоских проекцій просторових тіл і, зокрема, до проекцій корпусних деталей.

Правило 2. Для того щоб забезпечити однозначне положення поверхонь тіла обертання, що має всього n поверхонь, в тому числі m циліндричних поверхонь, необхідно і достатньо задати в кресленні (n – 1) технічних вимог: допусків перпендикулярності та паралельності поверхонь, серед яких обов'язково повинна бути одна технічна вимога – допуск перпендикулярності торця відносно осі циліндричної поверхні, а також (m – 1) технічних вимог – допусків співвісності циліндричних поверхонь.

Примітки:

1. Вимога паралельності торцевих поверхонь може бути не задана безпосередньо, але тоді розуміється, що допуск паралельності дорівнює допуску на розмір між

торцевими поверхнями.

2. Мінімально необхідна кількість технічних вимог для деталі типу тіла обертання дорівнює m, серед яких одна вимога – допуск перпендикулярності якого-небудь торця відносно осі однієї з циліндричних поверхонь і (m – 1) – допуски співвісностей.

3. Правило 2 (з примітками 1, 2) поширюється також на різні співвісні отвори корпусних деталей.

Правило 3. Для того щоб забезпечити однозначне положення поверхонь тривимірної (корпусної) деталі, що має n номінально перпендикулярних плоских поверхонь і осей, необхідно і достатньо задати (2n – 3) технічних вимог розташування поверхонь, серед яких обов'язково повинно бути три вимоги – допуски перпендикулярності трьох поверхонь, які створюють просторову ортогональну систему координат. Решта вимог або перпендикулярності, або паралельності інших поверхонь деталі.

Примітки:

1. Вимога паралельності поверхонь може бути не задана безпосередньо, але тоді розуміється, що допуск паралельності дорівнює допуску на розміри між цими поверхнями. Отже, мінімально необхідне число технічних вимог розташування поверхонь для корпусної деталі дорівнює трьом – це вимога перпендикулярності трьох сторін деталі.

2. При заданні технічних вимог паралельності яких-небудь плоских поверхонь необхідно вказувати допуски паралельності в двох взаємно перпендикулярних напрямках, і при підрахунках числа заданих вимог кожне з них вважається самостійним.

3. При заданні технічних вимог перпендикулярності осі циліндричного отвору до площини потрібно вказувати допуски перпендикулярності в двох взаємно перпендикулярних напрямках, і при підрахунку числа заданих вимог кожне з них вважається самостійним.

Два останніх правила потрібно використовувати як при розробці креслень деталей, так і при їх технологічному контролі. Правила дозволяють деякою мірою формалізувати контроль креслень, що дозволяє використовувати ЕОМ для такого контролю.

Розглянуті положення є основоположними, оскільки дозволяють у подальшому розглядати розмірні ланцюги відхилень розташування тривимірних (просторових) деталей по їх звичайних проекціях, тобто по плоских фігурах. Необхідно відмітити, що в робочих кресленнях число технічних вимог майже завжди виявляється меншим, ніж того вимагає теорія. Це спостерігається тому, що частина технічних вимог – допусків паралельності – не задається, якщо того не потребує службове призначення деталі, і розуміється заданим в межах допусків на розміри, що зв'язують дві номінально паралельні поверхні. Інша частина технічних вимог або застерігається відповідними стандартами, або розуміється заданою в межах нормалей, прийнятих в галузі чи на окремому підприємстві. І тільки найбільш відповідальні технічні вимоги, що впливають на працездатність деталі, механізму чи всієї машини, застерігаються в робочому кресленні. При цьому завжди необхідно пам'ятати, що відсутність в кресленні технічних вимог розташування поверхонь не означає, що поверхні можуть бути розташовані довільно, оскільки конфігурація деталі при цьому не може вважатись заданою однозначно.

Допуски на розташування поверхонь призначаються згідно з ГОСТ 24643, не-

вказані допуски розташування поверхонь призначаються згідно з ГОСТ 25069.

Для визначення допусків на розміри, що координують осі отворів (рис. 12.12) [21] використовуються табличні значення граничних відхилень згідно з ГОСТ 14140. Допуски розташування осей кріпильних отворів повинні забезпечувати можливість складання виробів, що з'єднуються кріпильними деталями. В несиметричних деталях точність розташування поверхонь посередньо обмежується допусками розмірів, що координують відносно інших баз елементи, які розглядаються.

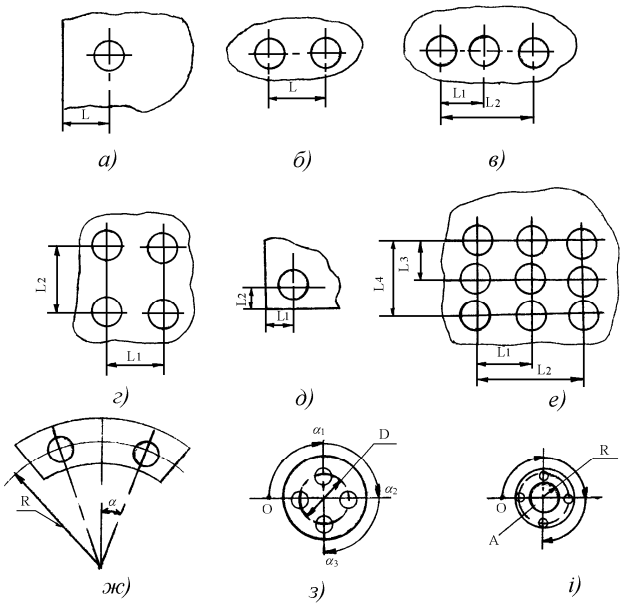


Рис. 12.12. До визначення допусків на розміри , що координують осі отворів в прямокутній (а–е) і полярній (ж–і) системах координат

Для визначення невказаних допусків співвісності, симетричності, перетину та перекосу осей використовуються такі формули [21]:

- для відхилення від співвісності однієї поверхні відносно іншої (при суміжному і вписаному розташуванні елементів) (рис. 12.13, *а*):

$$T_c = \sqrt{Tвх^2 + Tву^2};$$

поверхні відносно загальної осі (при рознесеному розташуванні елементів) (рис. 12.13, *б*):

$$T_{с.о.} = 0{,}5\sqrt{Tвх^2 + Tву^2};$$

- для відхилення від симетричності одного елемента відносно іншого чи відносно загальної площини симетрії інших елементів (при суміжному і вписаному розташуванні елементів) (рис. 12.13, *в*):

$$T_{сим} = T_в,$$

де $T_B = B_{max} - B_{min}$;

- для декількох елементів відносно їх загальної площини симетрії (при розташуванні елементів) (рис. 12.13, *г*):

$$T_{сим} = 0{,}5T_в;$$

- для відхилення від перетину осей (рис. 12.13, *д*):

$T_п = T_В$.

- Невказані допуски відхилення від паралельності визначаються за формулами:
- для площин (рис. 12.13, *е*, *ж*):

$T_{пар} = T_В$;

- при відхиленні площини А з меншою довжиною $L_М$ відносно площини Б з більшою довжиною $L_б$ (рис. 12.13, *з*):

$T_{пар} = T_{В1} + T_{В2}L_М/L_б$;

- при відхиленні загальної осі отворів на довжині L відносно площини (рис. 12.13, *і*) і для осі кожного отвору на його довжині (рис. 12.13, *к*):

$T_{пар} = T_В$.

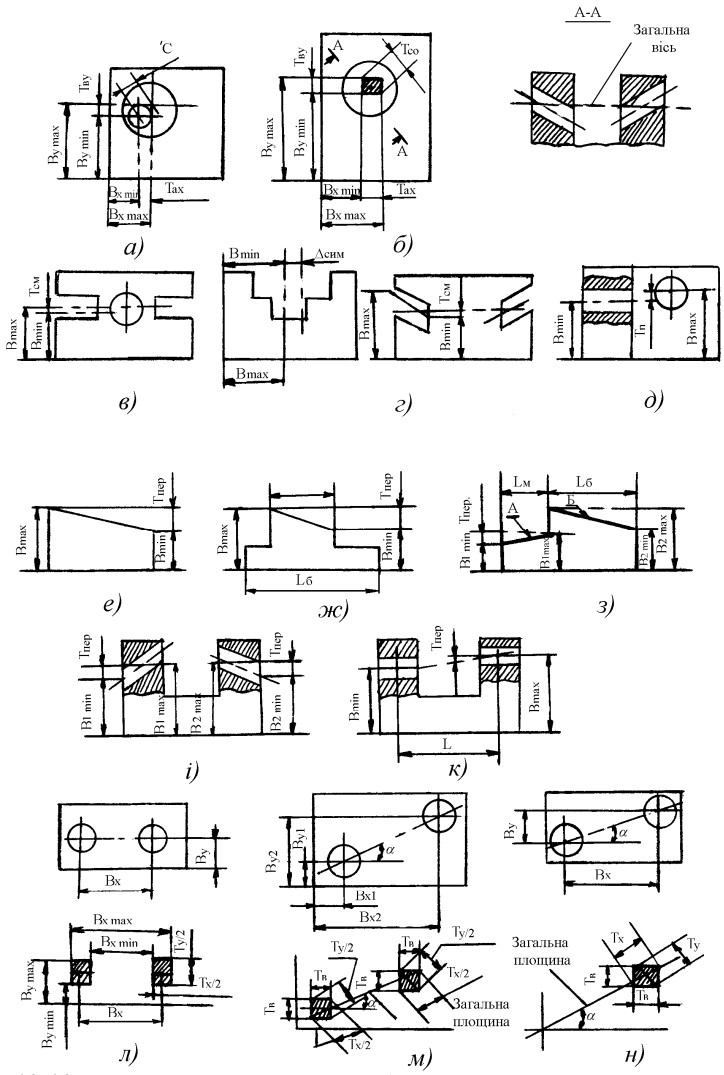


Рис. 12.13. До визначення невказаних допусків взаємного розташування поверхонь та осей

- Невказані допуски відхилення від паралельності та перекосу осей двох отворів обчислюються за залежністю.

якщо задана відстань між осями отворів і від осей до однієї площини (рис. 12.13, *л*):

$$T_X = T_{BX} : T_Y = 2T_{BY};$$

- якщо відстані до осей задані від двох площин (рис. 12.13, *м*) при $T_{BX1} = T_{BX2} = T_{BY1} = T_{BY2} = T_B$

– для $\alpha \le 45^o$:

$$T_X = T_Y = 2T_B/\cos\alpha;$$

– для $45^o \le \alpha \le 90^o$:

$$T_X = T_Y = 2T_B/\sin\alpha;$$

- якщо задано відстань між осями отворів (рис. 12.13, *н*) при $T_{BX} = T_{BY} = T_B$:

– для $\alpha = 45^o$:

$$T_X = T_Y = T_B/\cos\alpha;$$

– для $45^o \le \alpha \le 90^o$:

$$T_X = T_Y = T_B/\sin\alpha.$$

Граничні відхилення розташування поверхонь необхідно враховувати при розрахунку розмірних ланцюгів і контролювати їх виходячи із службового призначення конструкції.

Параметри якості поверхонь

Параметри якості поверхонь задають на кресленнях деталей, виходячи із службового призначення деталі, функції конкретної поверхні, використовуючи при цьому практичний досвід і можливості методів механічної обробки.

Рекомендовані значення параметрів шорсткості поверхонь деталей наведені в [30], а можливості методів механічної обробки в забезпеченні параметрів якості поверхонь – у [3].

12.1.5. Кодування деталі [37]

Після виконання креслення деталі її кодують, тобто надають конструкторсько-технологічний код.

Конструкторсько-технологічний код надається згідно з Класифікатором ЕСКД і технологічним класифікатором деталей (ТКД) машинобудування і приладобудування.

Класифікатор ЕСКД є інформаційною частиною ГОСТа 2.201. Позначення виробів і конструкторських документів. Цей стандарт встановлює структуру позначення виробу і основного конструкторського документа (рис. 12.14).

Чотиризначний літерний код організації-розробника призначають за кодифікатором організацій-розробників чи вказують код, виділений для централізованого присвоєння позначення. Порядковий номер реєстрації присвоюють за класифікаційною характеристикою від 001 до 999 в межах коду організації-розробника, виділеного для централізованого присвоєння. Код класифікаційної характеристики присвоюють виробу чи документу за класифікатором ЕСКД (рис. 12.15).

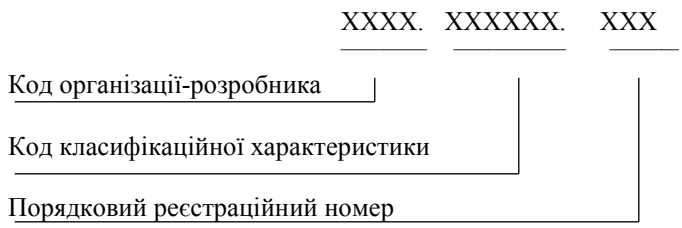


Рис. 12.14. Структура позначення виробу і основного конструкторського документа з ГОСТ 2.201

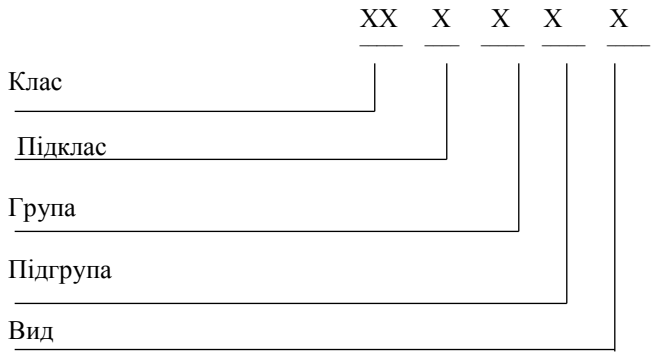


Рис. 12.15. Структура коду класифікаційної характеристик згідно з ГОСТ 2.201.

ТКД представляє собою систематизований звід найменувань загальних ознак деталей, їх складових окремих ознак та їх кодових позначень у вигляді класифікаційних таблиць. Структура повного конструкторсько-технологічного коду деталі складається з позначення деталі згідно з ГОСТ 2.201 (рис. 12.16).

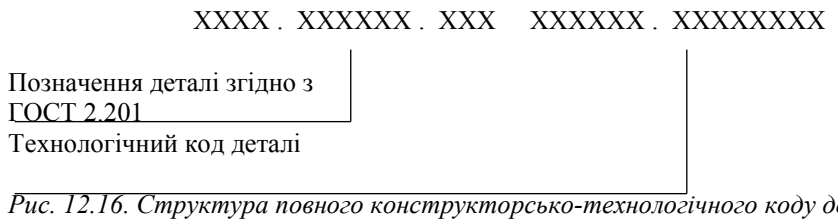


Рис. 12.16. Структура повного конструкторсько-технологічного коду деталі

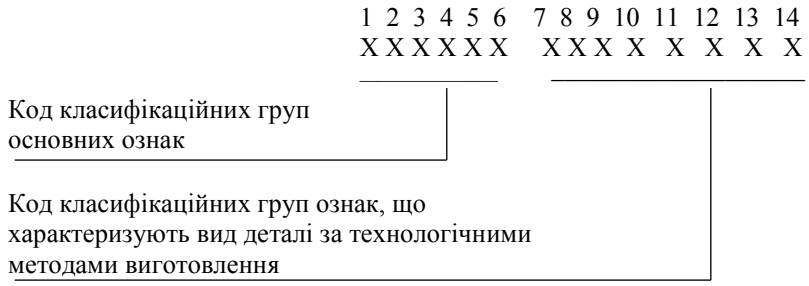


Рис. 12.17. Структура технологічного коду деталі

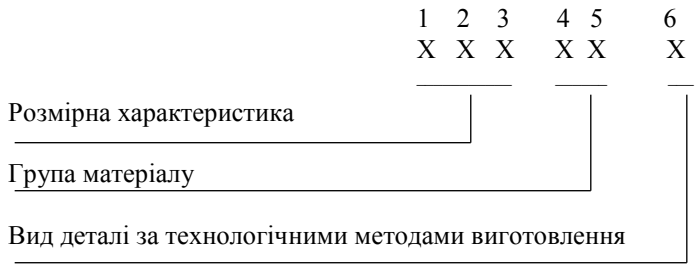


Рис. 12.18. Структура постійної частини технологічного коду деталі



Рис. 12.19. Структура змінної частини технологічного коду деталей, що обробляються різанням

Структура змінної частини технологічного коду залежить від виду деталей за технологічним методом виготовлення:

1 – деталі, що виготовляються литтям;
2 – деталі, що виготовляються куванням і об'ємним штампування;
3 – деталі, що виготовляються листовим штампуванням;
4 – деталі, що обробляються різанням;
5 – деталі, що термічно обробляються;
6 – деталі, що виготовляються формозмінного з полімерних матеріалів і гуми;
7 – деталі з покриттям;
8 – деталі, що обробляються електро-, фізико-, хімічними методами;
9 – деталі, що виготовляються порошковою металургією.

Відповідно ТКД містить 9 розділів.

Як приклад на рис. 12.19 представлена структура змінної частини технологічного коду деталей, що обробляються різанням (див. 4-й розділ ТКД).

Розглянемо методику формування повного конструкторсько-технологічного коду (див. рис. 12.16) такого роду деталей на прикладі шліцьового вала, показаного на рис. 12.20 [37].

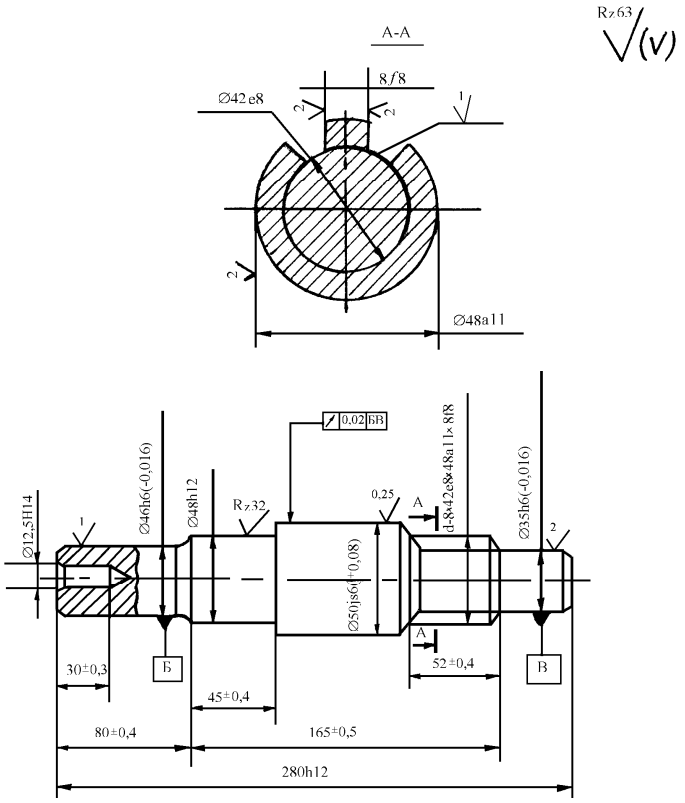


Рис. 12.20. Шліцьовий вал

Шліцьовий вал за (рис. 12.20) відноситься до деталей класу 71 (типу тіл обертання). Оскільки у цього вала відношення довжини L до діаметра D більше двох, а зовнішня його поверхня циліндрична, вал відноситься до 5-го підкласу (715000). Оскільки зовнішня циліндрична ступінчаста двостороння поверхня не має закритих уступів і нарізок, вал входить в 4-ту групу (715400). Шліцьовий вал має центральний глухий отвір, а тому відноситься до 2-ї підгрупи (715420), і, нарешті, якщо шліцьовий вал не має отворів, розташованих поза його віссю, він включається в третій вид (715423). Таким чином, сформований шестизначний код його конструкторської класифікаційної характеристики – 715423 (див. рис. 12.15).

Перші три знаки постійної частини технологічного коду визначають розмірну характеристику деталі (див. рис. 12.18). Виходячи з розмірів шліцьового вала, що кодується, зовнішній діаметр 50 мм, довжина 280 мм і найбільший діаметр центрального отвору 12,5 мм згідно з табл. 0.1 розділу 0 ТКД, літерно-цифровий код розмірної характеристики в даному випадку 8И3.

Шліцьовий вал виготовляють зі сталі 45, згідно з табл. 0.4 ТКД деталі присвоюють код 04. Шостий знак постійної частини технологічного коду визначає “Вид деталі за технологічним методом виготовлення” (див. рис. 12.18). Шліцьовий вал обробляють різанням, йому присвоюють згідно табл. 0.5

ТКД код 4 і відповідно далі змінну частину технологічного коду встановлюють за

даними 4-го розділу ТКД “Технологічна класифікація деталей, що обробляються різанням”. Сформована таким чином постійна частина технологічного коду деталі “Вал шліцьовий” (рис. 12.20) має код 8И3044.

Код деталі за ознакою “Вид вихідної заготовки” (перші три знаки згідно з рис. 12.19) призначають згідно з табл. 4.2. Оскільки ці вали виготовляють з некаліброваного прутка круглого перерізу, вихідній заготовці присвоюють код 31.

Як видно з креслення вала, показаного на рис. 12.20, найвищою точністю обробки зовнішніх поверхонь є 6-й квалітет, а внутрішніх поверхонь –14-й квалітет. Відповідно до табл. 4.3 ТКД призначають код 41.

Параметр шорсткості чи відхилення форми і розташування поверхонь кодують одним знаком (див. рис. 12.19, 11-та поз.). Найменше значення R_a = 0,25 мкм, відповідно за табл. 3.4 ТКД вибирають код 5. Оскільки на кресленні вала задане радіальне биття однієї з шийок, а вимоги відхилень від площинності, прямолінійності, циліндричності, круглості та від профілю поздовжнього перерізу не ставляться, за табл. 4.5 ТКД деталі присвоюють код 8. Отже, технологічний код буде 5 чи 8.

Допуск радіального биття 0,02 мм на діаметр 50 мм відноситься до шостого ступеня точності. За табл. 4.6 ТКД призначають код 4 (див. рис. 12.19, 12-та поз.).

Змінну частину технологічного коду (див. рис. 12.19, 13-та поз.) займає “Вид додаткової обробки”. В даному випадку передбачено термічну обробку вала і відсутні які-небудь покриття. Відповідно за табл. 4.7 ТКД призначають код 4.

Останнім (див. рис. 12.19, 14-та поз.) кодують “Характеристику маси”. Маса шліцьового вала – 4,3 кг, літерний код ТКД-Г призначають за табл. 4.8.

Таким чином, змінна частина технологічного коду деталі “Вал шліцьовий” (рис. 12.20) сформована у вигляді 3141544Г чи 3141844Г. Повний технологічний код цієї деталі складається з 14-ти позицій: 8И3044.31415447 чи 8И3044.31418447.

Конструкторсько-технологічний код шліцьового вала складається з 20-ти позицій (без вказання коду організації розробника і порядкового реєстраційного номера основного конструкторського документа) (див. рис. 12.14: 715423.8И3044.3141544Г чи 715423.8И3044.3141844Г.

Конструкторсько-технологічний код використовується для розв’язання низки взаємозв’язаних задач, що виникають при розробці технологічного процесу виготовлення деталі (приклад наведений в [37]).

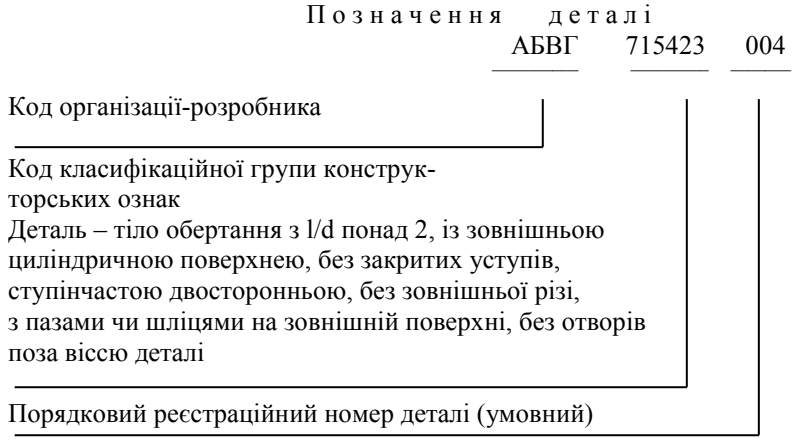




Рис. 12.21. Приклад формування конструкторсько-технологіцного коду деталі, що обробляється різанням, – вал шліцьовий (за рис.12.20)

12.1.6. Аналіз виробничої програми, визначення типу та організаційної форми виробництва [26]

В умовах ринкової економіки програма випуску виробу може бути визначена формулою:

$$N = \frac{П}{Ц},$$

де П – ринкова потреба у виробах, шт.;

Ц – оптимальний життєвий цикл випуску виробів, рік.

У навчальному проектуванні оцінити ринкову необхідність у продукції немає можливості, тому за базу беруть за плановану програму випуску виробів, яка наведена в завданні на курсове (дипломне) проектування.

При проектуванні виробничих процесів основою розрахунку є не річна програма випуску, а річна програма запуску їх у виробництво:

$$N_{зап} = N_{вип} + \alpha/100 + \beta/100 + \gamma/100,$$

де $N_{вип}$ – програма випуску виробів, шт.;

$\alpha = 3...5$ – відсоток невідворотних втрат (брак);

$\beta = 2...10$ – відсоток незавершеного виробництва, який залежить від галузі машинобудування, терміну виробничого циклу тощо;

$\gamma = 2...10$ – відсоток запасних частин.

Тип виробництва згідно з стандартом визначається коефіцієнтом закріплення операцій за формулою:

$$К_{з.о} = О/Р,$$

де О – кількість різних операцій, які виконуються на робочих місцях дільниці чи цеху;

Р – кількість робочих місць на дільниці чи в цеху.

Якщо за робочим місцем, незалежно від завантаження, закріплено тільки одну операцію, то $К_{з.о} = 1$, що відповідає масовому виробництву. При $1 < К_{з.о} < 10$ виробництво – великосерійне, при $10 < К_{з.о} < 20$ – середньосерійне, при $20 < К_{з.о} < 40$ – дрібносерійне, при $К_{з.о} > 40$ – одиничне.

При визначенні типу виробництва застосовується приблизне значення $Т_{шт}$, яке визначається за формулою:

$$Т_{шт} = \varphi_к Т_о,$$

де $Т_о$ – основний технологічний час, який визначається приблизно за аналогом чи за формулами [додаток 15];

$\varphi_к$ – коефіцієнт, який залежить від типу виробництва і методу обробки поверхонь.

Тип виробництва орієнтовно можна визначити за даними, наведеними у [додаток 16].

Значення $\varphi_к$ в залежності від виду обробки і типу виробництва наведені в [додаток 17], або приблизно рівні: $\varphi_К = 2,0$ – для умов серійного виробництва; $\varphi_к = 1,4$ – для умов великосерійного та масового виробництва.

Визначений за такою методикою тип виробництва є орієнтовний, його доцільно уточнити після нормування технологічного процесу.

Згідно з вимогами стандарту, є дві форми організації технологічних процесів: групова і потокова.

Доцільність застосування потокової форми організації виробництва встановлюють на основі порівняння середнього штучного часу $Т_{шт.сер}$ для декількох основних операцій з розрахунковим тактом $Т_в$ випуску [26]

$$К_з = Т_{шт.сер}/Т_в$$

При $К_з \geq 0,6$ вибирають потокову форму організації виробництва, у протилежному випадку – групову. При $К_з < 0,6$ можна застосувати багатономенклатурну потокову лінію, тобто необхідно підібрати ще декілька подібних деталей.

Тривалість такту залежить від типу лінії:

– для однономенклатурної:

$$Т_в = 60F_{д.о}К_з/N;$$

– для багатономенклатурної:

$$T_в = 60F_{д.о}K_з / \sum_{i=1}^{n} N_i ;$$

– для автоматичної:

$$T_в = 60F_{д.л}K_з / N,$$

де $F_{д.о}$, $F_{д.л}$ – дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання потокової або автоматичної лінії, год;

$K_з$ = 0,75...0,95 – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання; (менше значення Кз відповідає масовому виробництву);

N – річна програма випуску виробів, шт.;

N_i – число і-х виробів (деталей), які підлягають випуску за рік;

і – порядковий номер виробу (деталі), і = 1, 2,...,n.

Ефективний дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання і робочих місць ($F_{д.о}$ і $F_{д.л}$) приймають відповідно до норм технологічного проектування підприємств машинобудування та металообробки [додаток 18].

Якщо з тих чи інших причин в умовах серійного виробництва не вдається організувати потокове виробництво, приймають групову форму організації, яка характеризується періодичним запуском виробів (деталей) партіями.

Розмір партії запуску $П_з$ на стадії проектування визначають за формулою:

$$П_з = M\alpha/254,$$

де α = 3, 6, 12, 24 – періодичність запуску, днів;

254 – число робочих днів за рік.

(приклади – див. частина 1 пп. 1.8; 1.9)

12.1.7. Аналіз технологічності конструкції деталей

Правила забезпечення технологічності конструкції деталей встановлено державними стандартами. Ціль забезпечення технологічності конструкції деталі – підвищити продуктивність праці та якість виробу при максимальному зниженні затрат часу і коштів на розробку, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, експлуатацію та ремонт. Конструкція деталі повинна задовольняти вимоги виготовлення, експлуатації та ремонту найбільш продуктивним і економічним способом при заданих умовах виробництва.

Технологічність конструкцій механічно оброблюваних деталей обумовлюється:

- раціональним вибором заготовки;
- технологічністю форми деталі;
- раціональним проставленням розмірів;
- призначенням оптимальної точності розмірів і шорсткості поверхні.

Раціональний вибір заготовок

Матеріал заготовок

Технологічність заготовки залежить від поєднання форм і розмірів з механічними властивостями матеріалу, що впливають на її оброблюваність, тобто здатність піддаватись механічній обробці. Оброблюваність матеріалу заготовки обумовлює в процесі механічної обробки досягнення потрібної шорсткості поверхні. На шорсткість поверхні після обробки впливає велика кількість факторів, тому важко

дати цілком певні рекомендації для досягнення заданої шорсткості поверхні для кожного матеріалу заготовки, проте необхідно врахувати наступне:

- в деталях з конструкційних вуглецевих сталей зі вмістом вуглецю до 0,3 % не потрібно призначити шорсткість поверхні Ra 3,2 мкм. Для одержання більш чистої поверхні необхідно застосовувати сталі з більшим вмістом вуглецю;
- збільшення твердості за інших рівних умов дає можливість зменшити шорсткість поверхні. Середньовуглецеві, а також леговані сталі найкраще обробляються після загартування з високим відпуском до твердості HRC35. Високовуглецеві сталі, наприклад, У10, У12, добре обробляються у відпаленому стані;
- деталі з м'якої сталі перед механічною обробкою доцільно піддавати термічній обробці: нормалізації чи відпуску;
- деталі з алюмінієвих сплавів повинні піддаватись загартуванню та старінню. Сплави, що не піддаються загартуванню, необхідно модифікувати.

Види заготовок

Раціональним вибором заготовок передбачається:

- застосування заготовок, близьких за формую і розмірами до готової деталі (виливки, гаряче- і холодноштамповані, штампозварні і штамповиливані заготовки, профільний прокат);
- заміна декількох деталей однією монолітною шляхом її виливання чи штампування;
- скорочення кількості поверхонь, що піддаються механічній обробці.

При проектуванні деталей, що виготовляються з прокату, за можливістю необхідно зберігати без обробки всі неробочі поверхні, наприклад, діаметри головок і буртиків тіл обертання (валів, втулок тощо), невідповідальні поверхні прямокутних деталей (корпусів, плит).

При проектуванні деталей зі штампованих чи виливаних заготовок, бажано залишати без обробки всі неробочі поверхні. Це особливо важливо для виливаних заготовок, у яких внутрішні шари металу менш міцні і зняття з зовнішнього шару знижує міцність деталі.

Технологічність форми деталей

Загальні вимоги

З метою забезпечення механічної обробки продуктивними методами до деталей висуваються вимоги:

- належна жорсткість деталей і зручність їх встановлення на верстаті для обробки;
- поділ важкооброблюваних деталей складної конфігурації на декілька простих за конфігурацією деталей, що з'єднуються зварюванням, запресовуванням та іншими способами;
- перенесення окремих важковиготовлюваних конструктивних елементів деталі та їх функцій на з'єднувані деталі;
- одночасна обробка декількох деталей;
- чітке розмежування оброблюваних і необроблюваних поверхонь;

- можливість обробки на прохід;
- хороша доступність до всіх елементів деталі для обробки і вимірювання;
- зручність врізання і виходу інструменту;
- відповідність форми і розмірів оброблюваних поверхонь нормальному інструменту;
- рівномірне і безударне знімання матеріалу на оброблюваних поверхнях;
- спрощення форми механічно оброблюваних фасонних поверхонь;
- уніфікація деталей та їх геометричних елементів;
- розташування оброблюваних плоских поверхонь деталей на одному рівні, паралельно чи перпендикулярно одна до одної.

В той же час вимоги технологічності форми механічно оброблюваних деталей суттєво залежать від методів обробки на металорізальних верстатах. У зв'язку з цим:

а) деталі, що обробляються на токарних автоматах, повинні мати:
- максимальну кількість поверхонь, що мають форму тіл обертання;
- мінімальну кількість різних діаметрів;

б) деталі, що обробляються на багаторізцевих токарних верстатах, повинні мати:
- рівні чи кратні довжини оброблюваних поверхонь;
- форми перехідних східців між діаметрами, що допускають обробку прохідними різцями;
- зменшуючі в один бік розміри діаметрів;

в) деталі, що обробляються на горизонтальних свердлильно-фрезерних верстатах, за можливістю не повинні мати:
- внутрішніх підрізок торцевих поверхонь;
- отворів ступінчастої форми;
- кільцевих канавок і виточок;
- глухих отворів і різей;

г) деталі, що обробляються на протяжних верстатах, повинні мати:
- рівномірну товщину стінок;
- достатньо міцні перерізи;

д) деталі, що обробляються на агрегатних верстатах, не повинні мати глибоких отворів, але повинні мати:
- отвори, розташовані перпендикулярно до поверхні деталі;
- координацію оброблюваних отворів від однієї бази.

Більш докладні рекомендації з питань підвищення технологічності конструкції деталей викладені в [34] та інших літературних джерелах.

Раціональне проставлення розмірів, призначення їх оптимальної точності, а також параметрів якості поверхонь розглянуто в п. 2.1.4.

Оцінка технологічності конструкції може бути двох видів: якісна та кількісна.

Якісна оцінка характеризує технологічність конструкції узагальнено на підставі досвіду виконавця і проводиться на всіх стадіях проектування як попередня. Її характеризують показники добре-погано, а напрямки аналізу – викладені вище.

Кількісна оцінка базується на визначенні відношення досягнутих показників до базових.

В державних стандартах наведено типовий перелік показників технологічності, з якого розробник повинен приймати мінімальну, але достатню їх кількість. Показники технологічності виступають як інструмент спілкування між конструктором і технологом при сумісному відпрацюванні конструкції на технологічність.

Рекомендується поетапне відпрацювання конструкції на технологічність: виявлення головних конструктивних елементів; відпрацювання на технологічність допоміжних конструктивних елементів.

Відпрацювання конструкції на технологічність рекомендується виконувати в такому порядку:

- підібрати і проаналізувати вихідні матеріали, необхідні для оцінки технологічності;
- визначити показники технологічності базової та призначеної до виготовлення конструкції;
- провести порівняльну оцінку і розрахунок рівня технологічності;
- розробити заходи щодо поліпшення показників технологічності.

Основними показниками технологічності для деталі можна вважати: трудомісткість виготовлення, матеріаломісткість, точність обробки, шорсткість поверхонь, собівартість виготовлення тощо.

Більшість кількісних показників технологічності конструкції деталі можна визначити під час розробки або в кінці проектування технологічного процесу. Наприклад, коефіцієнт використання матеріалу можна визначити після розрахунку припусків на технологічну обробку і розробки креслення заготовки.

Технологічність конструкції деталі за трудомісткістю та собівартістю остаточно визначається лише після розробки та нормування технологічного процесу. Решту кількісних показників технологічності (за шорсткістю, точністю тощо) можна визначити тільки тоді, коли в конструкцію деталі внесені зміни. Враховуючи також і те, що при проектуванні технологічних процесів у навчальних цілях, як правило, важко визначити базові показники технологічності, пропонується у навчальному процесі кількісні показники технологічності не визначати, а відпрацювати конструкцію тільки на якісному рівні, згідно з рекомендаціями, наведеними вище.

Після проведення аналізу технологічності всі пропозиції щодо змін конструкції повинні бути систематизовані в пояснювальній записці. Зміни, що не суперечать службовому призначенню деталі, після узгодження розробником повинні бути внесені в креслення деталі.

12.1.8. Попередній вибір заготовок і методів їх одержання

Виготовлення заготовок – один з основних етапів машинобудівного виробництва, який безпосередньо впливає на витрати матеріалу, якість виробу, трудомісткість його виготовлення та в кінцевому результаті, на собівартість виробу. Витрати на отримання заготовки (матеріал разом з трудомісткістю виготовлення), наприклад, у верстатобудуванні, складають до 70 % від загальних витрат на виготовлення деталі. Тому, розробляючи технологію виготовлення машин і приладів, забезпечуючи на практиці їх високу якість та надійність, а також низьку собівартість, інженер-технолог повинен добре володіти методами проектування та виробництва заготовок.

Основні способи одержання заготовок та їх технологічні можливості

До основних способів виробництва заготовок можна віднести лиття, обробку тиском і зварювання, а також способи, які менше застосовуються, але є перспективними: спікання з металевих порошків і лиття з пластмас.

а) *Заготовки, які одержують литтям*.

Литтям одержують заготовки практично будь-яких розмірів як простої, так і складної конфігурації шляхом заливання розплавленого металу у форми.

Точність розмірів та якість поверхонь залежить від способу лиття.

Основні способи лиття: лиття у піщано-глинясті форми, лиття у оболонкові форми, лиття у кокіль, відцентрове лиття, лиття по моделях що виплавляються, а також лиття під тиском.

Порівняльну характеристику і можливість кожного методу лиття наведено у табл. 12.3. *Лиття у піщані форми* – самий найпоширеніший спосіб лиття. В машинобудуванні ним виробляють до 80 % відливок (по масі). В залежності від розмірів відливка і типу виробництва застосовують ручне, або машинне формування. Виготовлені цим способом заготовки характеризуються низькою точністю, високою шорсткістю та великими припусками на механічну обробку. Вартість відливок мінімальна, а вартість механічної обробки найбільша у порівнянні із заготовками, виготовленими іншими способами лиття. В піщаних формах отримують переважно відливки зі сталі, чавуну і рідше з кольорових металів. Цей спосіб найчастіше застосовується в одиночному, а іноді й у серійному виробництвах.

Лиття в оболонкові форми полягає в тому, що форма виготовляється з формувальної суміші, яка складається з піску і фенолформальдегідних смол як зв'язуючого. Формувальна суміш містить дрібнозернистий пісок і має високу рухомість. Це дозволяє одержати більш високу точність відбитка і меншу висоту мікронерівностей поверхонь відливка. Лиття в оболонкові форми скорочує витрати металу на 30–50 %, обсяг наступної механічної обробки – на 40–50 %, а витрати формувальної суміші зменшує в 10–20 разів. Процес лиття може бути повністю механізований. Лиття в оболонкові форми в основному застосовується для виготовлення дрібних та середніх відливок, а також тонкостінних відливок з чавуну, вуглецевої та легованої сталей і кольорових металів.

Лиття по моделях, що виплавляються, застосовується для виготовлення складних і точних заготовок практично з будь-яких сплавів. Для кожної відливки (а відливка може бути групова) виготовляється разова модель з елементами ливникової системи з легкоплавкої модельної суміші (на основі парафіну, стеаріну та ін.), а формувальна суміш у вигляді рідкої суспензії накладається в декілька шарів на модель з наступним сушінням кожного шару. Після виплавлення моделі та прокалювання мають міцну тонкостінну оболонкову форму з товщиною стінок 1,5–4 мм. Така форма не має роз'ємів і замкових частин. Це дає високу точність розмірів і взаємного розташування поверхонь. Механічна обробка таких заготовок мінімальна, а іноді зовсім відсутня. Литтям по моделі, що виплавляється, найчастіше виготовляють дрібні, але дуже складні за конфігурацією деталі з кольорових сплавів, високолегованих сталей, жароміцних сплавів, які важко піддаються обробці різанням.

Кокільне лиття – лиття у металеві форми. Його головна особливість – багатократне використання металевої форми – кокіля, зменшення витрат металу що льється на 10...20 % у порівнянні з литтям у піщані форми, зменшуються витрати на наступну механічну обробку. Заміна лиття з піщаних форм на кокільне при достатньо великій програмі зменшує собівартість відливок приблизно на 30 %, продуктивність підвищується у 4–6 разів.

Таблиця 12.3

Порівняльна характеристика способів лиття

Спосіб лиття	Тип виробництва	Матеріал виливок	Маса виливок, кг	Товщина стінок, мм	Досяжна точність розмірів, квалітет	Шорсткість поверхні	Коефіцієнт використання матеріалу	Собівартість лиття	Технологічні особливості	Область використання
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
В піщані форми	Е; С	Чавун, сталь, кольорові сплави	10...1000	> 3	14...17	320...80	0,5–0,7	СЧ-120 КЧ-150 Ст..Л-125-250	Можливе виготовлення виливок будь-якої конфігурації	Фланці, кришки, станини, корпуси
В оболонкові форми	С; М	Чавун, легована сталь, кольорові метали	0,1...80	2...4	12...15	160...20	0,85–0,9	120-1200	Тонкостінні виливки компактної форми	Втулка, муфти, фланці, кронштейни
По моделях, що виплавляються	М; С	Високолеговані сталі, жаростійкі сплави, кольорові метали	0,01...135	$\geq$ 0,7	11...14	40...10	0,85–0,95	Вуглецеві сталі 600...1000	Дрібні та середні виливки складної конфігурації	Лопатки турбін, фітинги, штуцери. корпуси та ін.
Кокільне лиття	С	Сталь, чавун, кольоровий метал	0,1...50	> 3	12...15	80...20	0,7–0,75	СЧ-90 Вугл..ст 150-200 Al спл.600 ...700	Виготовлення товстостінних виливок простої та середньої форми	Муфти, втулки, стакани, колеса, маховики
Відцентрове лиття	М; С	Сірий чавун, сталь, мідні сплави	0,1...3000	>4	13...15	80...20	0,7...0,8	СЧ-120-150	Деталі, які мають вісь симетрії	Труби, кільця, втулки, стакани, гільзи
Під тиском	М; С	Цинкові, алюмінієві, магнієві, мідні сплави	0,001–13	0,5...6	9...13	40...10	0,95...0,98	Al. сплави 760...800 Цинк. Сплав 600...1500	Тонкостінні виливки складної конфігурації	Корпуси приладів панелі рами, роз'єми кронштейни та ін.

Таблиця 12.4

Порівняльна характеристика різних способів штамповки і ковки

Спосіб одержання заготовки	Тип вироб-ництва	Матеріал поковок _____ Маса поковок, кг	Припуски на сторону, мм _____ Штамповані ухили, °	Досяжна точність, квалітет _____ Шорсткість поверхні R_z, мкм	Відносна собівартість в %	Технологічні особливості	Область застосування
1	2	3	4	5	6	7	8
Кування	О; С	Вуглецеві та леговані сталі, легкі сплави _____ 0,5…250000	По перерізу 20…40, по довжині 8…70 _____ __	16–17 і вище _____ 320…40	130…220	Найбільш прості конструктивні форми	Ротори гідротурбін, фланці, вали, диски, колеса
Гаряче штампуванняна молотах	С, рідко М	Сталі, кольорові метали _____ 0,1…2000	0,75…4,25 _____ 7…10	15…17 _____ 320…40	10	Заготовка надто складної форми без поглиблень і виступів, заважаючи вийманню зі штампа	Зубчасті колеса, важелі, перемикачі, чашки, маточини

Закінчення табл. 12.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Гаряче штампування на механічних пресах	С; М	Сталі, кольорові метали 0,1...1000	0,5...3 3...7	13...17 160...20	86...1000	Заготовка надто складної форми без поглиблень і виступів, заважаючи вийманню зі штампа	Кільця, гайки, важелі, фланці, кришки, корпуси
Гаряче штампуванняна ГКМ	С; М	Сталі, кольорові метали 0,5...100	15...3,25 в матриці 1...7, в пуансоні 0,25...2	13...17 160...20	70...75	Осесиметричні стрижні з суцільними та порожніми головками, фланцями	Кільця, гайки, важелі, фланці, кришки, корпуси
Гаряче штампу-вання та калібруван-ня	М	Сталі, кольорові метали 0,3...120	0...0,4 5...7	11...15 32...10	77…93	Поверхні після холодного каліб-рування не потре-бують наступної механічної обробки	Панелі, фланці, кришки, штапсельні роз’єми
Штампу-вання видавлю-ванням на гідрав-лічних пресах	С	Металопласт-ичні сталі, кольорові метали 0,23...80	По перерізу 0,5...1,5 по довжині 1,5...4 0,5...4	13...17 160...20	110...115	Заготовки з тонкими і довгими стінками або стрижнями	Спецболти, стрижні, баки, контейнери, труби з фланцями

Відцентрове лиття полягає в тому, що розплавлений метал заливається у форму (виливницю), яка обертається до закінчення кристалізації металу. В цьому випадку, як і при кокільному литті, отримують високу точність розмірів і низьку шорсткість поверхонь. За рахунок того, що виливниця обертається, досягається висока щільність металу відливки, її міцність. При цьому способі лиття зменшуються витрати металу, оскільки майже відсутні стержні та ливникова система. До недоліків можна віднести низьку якість внутрішньої порожнини, де накопичуються неметалеві включення і можливість появи поздовжніх і поперечних тріщин під впливом великих відцентрових сил. Цим методом в основному виготовляються деталі типу тіл обертання з чавуну, вуглецевих та легованих сталей і менше з кольорових сплавів (див. табл. 12.3).

Лиття під тиском полягає в заливанні розплавленого металу з великою швидкістю в металеві прес-форми (які встановлюються на спеціальних машинах для лиття) і кристалізації його під тиском. Все це дозволяє одержати складні, близькі за конфігурацією до готової деталі тонкостінні заготовки з низькою шорсткістю поверхонь і високою точністю розмірів (див. табл. 12.3). В основному лиття під тиском застосовують для виготовлення деталей з кольорових сплавів, при серійному виробництві. У порівнянні з литтям у піщані форми, лиття під тиском знижує собівартість відливки на 16–36 %.

б) *Заготовки, які отримують обробкою тиском*.

Обробкою металів тиском одержують машинобудівні профілі, ковані та штамповані заготовки. Обробкою тиском виготовляють заготовки з достатньо пластичних металів. Механічні властивості таких заготовок завжди вищі, ніж литих.

Машинобудівельні профілі виготовляють прокаткою, пресуванням та волочінням. Ці методи дозволяють одержати заготовки, близькі до готової деталі за поперечним перерізом (круглим, квадратним, прямокутним, шестигранним та ін.). Профілі випускають гарячекатані та калібровані. Гарячекатані профілі можна прокалібрувати волочінням. При виготовленні деталі з каліброваних профілів можлива обробка без застосування лезвійного інструменту. З профілів можна одержати штучні заготовки за допомогою різних способів різання (на пилках, пресножицях, абразивних, відрізних верстатах, кисневим розрізанням та ін).

Кування застосовується для виготовлення заготовок масою від 0,2 до 350 кг і більше, в одиночному та дрібносерійному виробицтві. Кування виконують на кувальних молотах та гідропресах. Як початковий матеріал застосовують виливки, прокат найпростіших профілів, порізаний на штучні заготовки. Ковані заготовки мають великі припуски, низьку точність розмірів, велику шорсткість R_z =320...80 мкм. Тому в умовах дрібносерійного виробництва для більш складних заготовок застосовують прості підкладні штампи, які дають можливість зменшити припуски, ліквідувати напуски, знизити шорсткість поверхонь. Застосування підкладних штампів виправдовується при кількості заготовок одного найменування 30–50 шт., що зменшує собівартість на 15–20 % у порівнянні з універсальним інструментом.

Об'ємним штампуванням отримують заготовки більш складної конфігурації, різної форми і масою від грамів до 1 т. Об'ємне штампування виконується в горячому і холодному станах, у відкритих та закритих штампах, а також в штампах для видавлювання. Поковки, виготовлені об'ємним штампуванням, мають високу якість поверхонь, R_z = 80–20 мкм, щільну мікроструктуру, точність розмірів досягає до 12 квалітета. Цим способом виготовляють заготовки з вуглецевих, легованих сталей, алюмінієвих, мідних і титанових сплавів у серійному виробництві. Порівняно

з куванням припуски зменшуються в 2...3 рази.

Перспективне застосування *штампування рідинного металу* видавлюванням в рознімних матрицях, що підвищує ще більше механічні властивості, точність розмірів, знижує шорсткість, зменшує ухили і ліквідуються задирки, і форма поковки максимально наближається до форми деталі. Порівняльну характеристику різних способів штампування та кування наведено в табл. 12.4.

Об'ємне штампування виконують на молотах, пресах і кувальних машинах.

Високопродуктивними є процеси одержання заготовок *холодним штампуванням.*

Холодним штампуванням називають штампування яке виконується при температурі нижче температури рекристалізації.

Його поділяють на листове та об'ємне.

Листовим штампуванням називають процес виготовлення деталей на штампах з листа, полоси або рулоного матеріалу товщиною до 10 мм. Переваги листового штампування такі: висока продуктивність (до 40 тис. шт. за зміну); висока точність штамповок, що виключає подальшу механічну обробку; можливість автоматизації процесу. Економічно виправдовується застосування цього процесу при серійному і масовому виробництві.

Холодне об'ємне штампування дозволяє зовсім виключити обробку різанням і забезпечує у порівнянні з останньою зменшення трудомісткості на 30...80 %, значне підвищення коефіцієнта витрат матеріалу, наприклад, при холодній висадці коефіцієнт витрат підвищується до 0,95, а продуктивність – до 800 шт. за хвилину (в залежності від обладнання та конфігурації деталі).

в) *Заготовки, які виготовляють зварюванням*.

Зварювані заготовки виготовляють різними способами зварювання: від електродугового до електрожужильного. В ряді випадків зварювання спрощує виготовлення заготовки, особливо складної конфігурації та великих розмірів. Зварювані заготовки складаються з окремих частин, котрі можуть бути з різних матеріалів і виконані різними технологічними методами (литтям, штампуванням, розрізанням з профілю та інші). Такі заготовки називаються комбінованими. Обсяг заготовок, отриманих зварюванням, в загальному обсязі всіх заготовок в машинобудуванні досягає 50 %. Всі зварювані конструкції поділяються: на балки і колони, які складаються з листових елементів, зварюються автоматичним зварюванням під флюсом і практично обробці різанням не підлягають; оболонкові конструкції, до яких висуваються вимоги герметичності при надмірному тиску, та різні резервуари, сосуди, труби, які також зварюються автоматично під флюсом; транспортні конструкції (корпуси суден, вагонів, автомобілів), які складаються з листових та каркасних елементів і з'єднуються автоматичним дуговим або контактним зварюванням; деталі машин і приладів різної форми та розмірів – (станини, вали, колеса, корпуси приладів, шатуни та інші). Елементи цих деталей виготовляють з різних матеріалів і різними способами, різної товщини, тому при зварюванні застосовують різні способи зварювання, але при цьому повинні бути забезпечені певні технологічні умови для якості зварювання:

1) кількість зварюваних з'єднань повинна бути мінімальною;

2) зварювані шви, за можливістю, повинні бути прямолінійними і безперервними за довжиною;

3) конструкція та взаємне розташування елементів, що підлягають зварюванню, повинні забезпечувати зручний доступ зварювального інструменту, а також застосування стандартних електродів;

4) за наявності декількох можливих варіантів зварювання необхідно вибирати більш прості та продуктивні;

5) в конструкції не повинно бути різних (ступінчастих) переходів по товщині металу.

6) габарити заготовок повинні забезпечувати можливість термообробки в термопечах.

За рахунок спрощення конструкції зварювання заготовок та раціонального підбору технології зварювання забезпечують економію металу до 30...60 %, скорочення трудомісткості і в цілому собівартості виготовлення заготовки.

Основні принципи вибору способу отримання заготовок

Одну і ту ж деталь можна отримати із заготовок, виготовлених різними способами. Якому ж способу віддати перевагу?

Одним з основних принципів вибору заготовки є орієнтація на такий спосіб виготовлення, який забезпечує максимальне наближення форми заготовки до форми готової деталі. В цьому випадку різко знижуються витрати матеріалу, обсяг механічної обробки та виробничий цикл виготовлення деталі. В той же час у заготівельному виробництві зростають витрати на технологічне обладнання та оснащення, їх ремонт та обслуговування. Тому розробка технологічних процесів виготовлення заготовок повинна проводитись на основі технологічного та економічного принципів. Відповідно до технологічного принципу вибраний технологічний процес повинен забезпечити усі вимоги креслення і технічних умов до нього, а відповідно до економічного принципу, виготовлення заготовки повинно проводитись з мінімальними витратами на виробництво. Із декількох можливих варіантів технологічного процесу вибирають за інших рівних умов більш економічний, а при однаковій економічності – більш продуктивний.

А для того, щоб можливо було порівняти 2–3 варіанти та вибрати оптимальний і остаточний, проводять техніко-економічний аналіз. Однак на стадії технологічної підготовки нового виробу, коли технології ще немає, а термін підготовки дуже короткий, попередній вибір способу виготовлення заготовки виконують на основі технологічних факторів, що впливають на вибір способу і порівняння технологічних можливостей кожного способу, що наведено в табл. 12.3 та 12.4.

Фактори, що визначають спосіб виготовлення заготовки

а) *Форма і розміри заготовки*

Прості за конфігурацією деталі можна виготовляти з прокату різного перерізу (багатогранного, трубного та ін.). Більш складні за конфігурацією заготовки виготовляють різними методами лиття. Заготовки великих розмірів, непростої конфігурації виготовляють литтям в піщані форми або куванням.

Заготовки, що виготовляють об’ємним штампуванням повинні бути більш простої конфігурації по формі і менше мати отворів та порожнин, котрі збільшують кількість напусків.

Форма (група складності) та розміри (маса) відливок і поковок впливають в кінцевому підрахунку на собівартість заготовки.

б) *Необхідні точність та якість поверхневого шару заготовок*

Чим вищі вимоги до точності та якості заготовок, тим вища вартість їх

виготовлення. Це пов'язано з високою вартістю виготовлення складного та високоточного оснащення (металеві моделі, штампи, пресформи), застосування обладнання з високими параметрами точності та збільшенням витрат на його отримання.

Технологічний процес виготовлення заготовки визначає не тільки мікрогеометрію поверхні, яка впливає на можливості обробки, а й фізико-механічні якості поверхневого шару, що впливає на експлуатаційні властивості деталі.

В оптових цінах на заготовки це подорожчання більш точних заготовок виявляється в надбавках до базової ціни: для відливок – 3–6 %, для штамповок – 5–15 %

в) *Технологічні властивості матеріалу заготовки*

Часто властивості матеріалу накладають обмеження на вибір способу виготовлення заготовки. Так, сірий чавун має хороші ливарні властивості, але не підлягає куванню, сталі з високим вмістом вуглецю добре відливаються, але дуже погано зварюються.

Технологічні властивості матеріалу безпосередньо впливають на собівартість заготовки. Так, перехід від виготовлення відливка з чавуну до сталі підвищує собівартість заготовки (без вартості матеріалу) на 20–30 %. Застосування легованих і високовуглецевих сталей при виготовленні заготовок штампуванням підвищує собівартість заготовок на 5–7 %. Після холодної обробки тиском виникає наклеп, тому холоднокатаний метал міцніший литого у 1,5–3 рази.

Зварювання призводить до створення неоднорідних структур в самому шві і навколо нього. Неоднорідність залежить від матеріалів, способу і режиму зварювання, що застосовуються.

Таким чином, кожен спосіб отримання заготовок вимагає від матеріалу певного комплексу технологічних властивостей.

г) *Програма випуску продукції*

Програма випуску продукції (кількість виробів, що виготовляються за одиницю часу, найчастіше за рік) є одним із найважливіших факторів, які визначають спосіб виробництва заготовок.

Вплив програми випуску можна простежити за собівартістю однієї заготовки:

$$С_{маг} = а + в/П,$$

де а – поточні витрати (вартість матеріалу, заробітна плата основних робітників, витрати на експлуатацію обладнання та оснащення);

в – одноразові витрати (на обладнання, інструмент, їх амортизацію та ремонт);

П – розмір партії виробів, що виготовляється.

З формули видно, що збільшення партії виробів веде до зменшення собівартості заготовки. Програма випуску дозволяє визначати економічну доцільність застосування того чи іншого методу виготовлення заготовки.

д) *Виробничі можливості підприємства*

При розробці нових технологічних процесів виготовлення заготовок для діючих підприємств ці технології потрібно зв'язувати з можливостями підприємства: типом і кількістю обладнання, виробничих площ, можливостями обслуговуючих служб тощо. Придбання нового обладнання, оснащення та матеріалів потрібно обґрунтовувати техніко-економічними розрахунками, а також розглядати можливості кооперації.

е) *Тривалість технологічної підготовки виробництва*

Складність періоду технологічної підготовки полягає в тому, що вона повинна проводитись в певні терміни, які диктуються різними економічними показниками та

контрактами, особливо в умовах ринкової економіки. Збільшення періоду підготовки виробництва може призвести до морального старіння виробу, зниження фондовіддачі капіталовкладень тощо. Тому починати підготовку необхідно на стадії проектування виробу. Тривалість та обсяг технологічної підготовки виробництва визначається складністю виробу, характером застосовуваних технологічних процесів та обладнання, типом виробництва. В умовах масового і серійного виробництва технологічна підготовка ведеться особливо детально, в умовах одиночного виробництва обмежується розробкою мінімальних даних, необхідних для виробництва (маршрутними техпроцесами, мінімальною кількістю оснащення). Широко застосовуються типові та групові технологічні процеси, уніфіковане оснащення.

Методика вибору способу виготовлення заготовок

На першому етапі аналізуються детальні та складальні креслення, виявляються взаємозв'язки елементів конструкції при складанні, експлуатації та ремонті, проводиться ретельне технологічне опрацювання креслення деталей на можливість виготовлення їх в умовах конкретного виробництва з найменшими витратами коштів і часу. Усі виявлені недоліки і пропозиції враховуються розробником конструкції. Потім, враховуючи програму випуску, зміст і орієнтовну трудомісткість технологічного процесу, виявляють тип виробництва. Відповідно до конструкції деталі та технічних вимог до неї, за табл. 12.3 та 12.4 аналізують можливість застосування того чи іншого способу виготовлення. Потім аналізують ступінь впливу розглянутих факторів. На цьому попередньому етапі вибору оптимального способу виготовлення заготовки застосовують так звану матрицю впливу факторів (див. табл. 12.5). Оцінка кожного фактора в таблиці виконується "плюс-мінус" або за допомогою оцінок від 0 до 1. Найкращим вважається спосіб, що набрав найбільшу суму коефіцієнтів. Для остаточного вибору способу одержання заготовки беруть 2–3 варіанти, що набрали найбільшу кількість коефіцієнтів, і виконують техніко-економічне порівняння.

Таблиця 12.5

Зразок оформлення матриці впливу факторів

Спосіб виготовлення заготовки	Фактори					
	Форма і розміри заготовки	Точність та якість поверхневого шару	Технологічні властивості матеріалу	Річна програма	Виробничі можливості підприємства	Сума
Лиття: під тиском	+	+	–	–	–	2
по моделях, що виплавляються	+	+	-	+	+	4
кування	+	–	+	–	+	3
Штампування на КГМ	+	–	+	+	–	3

12.2. Формулювання основних технологічних задач та прийняття попередніх технологічних рішень (другий етап розробки технологічного процесу виготовлення деталі)

На цьому етапі розв'язуються такі задачі:

- виявлення і аналіз розмірних зв'язків поверхонь деталі та формулювання основних технологічних задач;
- вибір принципіальної схеми маршруту обробки деталі;
- вибір і обгрунтування технологічних баз;
- вибір методів і числа ступенів обробки поверхонь;
- вибір варіантів маршрутів обробки та попередній вибір обладнання.

12.2.1. Виявлення і аналіз розмірних зв'язків поверхонь деталі та формулювання основних технологічних задач

Розв'язання цього питання покажемо на прикладі корпусу (рис. 12.23) [3]. Виявлення та аналіз розмірних зв'язків проводимо за кресленням деталі (рис. 12.23) із врахуванням функцій, що виконуються конкретними поверхнями деталі в складальній одиниці (рис. 12.22).

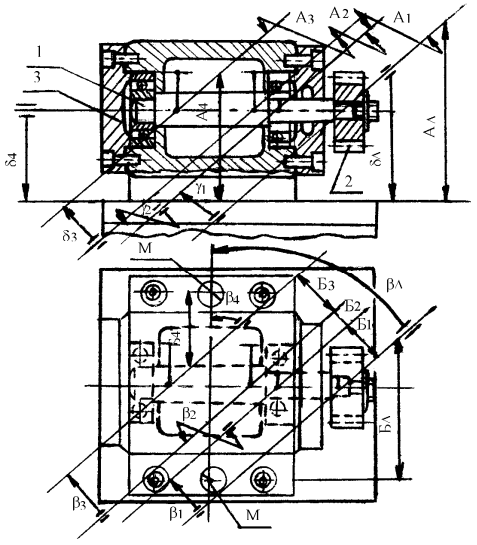


Рис. 12.22. Складальна одиниця

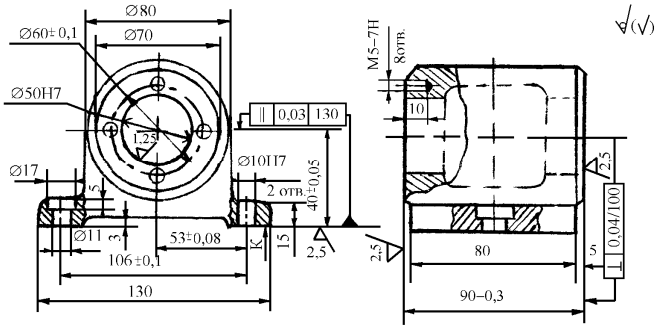


Рис. 12.23. Корпус підшипника

Виходячи зі службового призначення паразитного ступеня зубчастого зчеплення (рис. 12.22), службове призначення корпусу (рис. 12.23) – забезпечити разом з підшипниками кочення потрібне положення у двох координатних площинах (вертикальній та горизонтальній) валика 1, на якому монтується зубчасте колесо 2 ($А_Δ$, $Б_Δ$, $β_Δ$, $γ_Δ$ на рис. 12.22).

Службове призначення корпусу забезпечується рядом параметрів, які визначають правильне положення осі отвору ∅50H7 (див. рис. 12.23).

Параметри, що стосуються службового призначення деталі, називають основними.

З виявлених розмірних зв'язків (рис. 12.24) видно, що положення осі основних отворів корпусу (∅50H7) визначається двома відстанями $А_4$ і $Б_4$ від його основних баз (площини основи і двох отворів) і двома відносними поворотами $β_4$ і $γ_4$ осі отвору відносно цих баз. Параметри $А_4$, $Б_4$, $β_4$, $γ_4$ є основними параметрами, які визначають положення осі отвору ∅50H7. Допуски на ці параметри встановлюються, як відомо, конструктором при виборі методів досягнення потрібної точності вихідних ланок $А_Δ$, $Б_Δ$, $β_Δ$, $γ_Δ$.

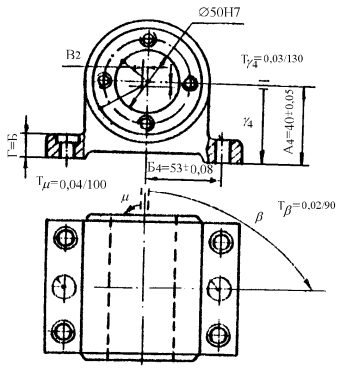


Рис. 12.24. Розмірні зв'язки корпусу

До основних параметрів належать також точність форми, розмір, шорсткість отвору ∅50H7, перпендикулярність μ його осі до прилеглих до отвору торців, які

визначають працездатність підшипників та ін.

Службове призначення корпусу (як і будь-якої іншої деталі) забезпечується також рядом допоміжних параметрів, що безпосередньо не стосується службового призначення деталі – другорядними параметрами деталі.

Другорядними параметрами корпусу є:

- співвісність B_1 і B_2 отвору ∅50Н7 і зовнішнього контуру у двох координатних площинах (вертикальній та горизонтальній), від чого буде залежати положення передньої та задньої кришок 3, які базуються на торцях бобишок і отворах ∅50Н7 (рис. 12.25, *а*);
- товщина поличок Г основи корпусу, від чого буде залежати глибина D отворів під головки болтів, що закріплюють підшипник. При нерівномірній товщині поличок головки деяких болтів можуть виступати із корпусу, погіршуючи товарний вигляд складальної одиниці (рис. 12.25, *б*).

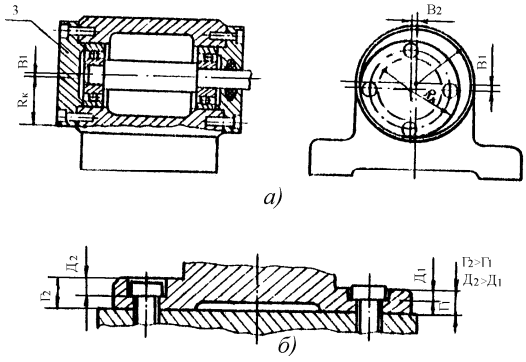


Рис. 12.25. Вплив неспіввісності B_1 *і* B_2 *на розташування кришки 3 відносно корпусу (а) і вплив товщини поличок на товарний вигляд складальної одиниці (б)*

Виходячи з виявлених розмірних зв'язків і вимог щодо точності та якості поверхонь, визначають і формулюють основні технологічні задачі. Правильне вирішення цих питань суттєво впливає на точність та економічність виготовлення деталі.

Так, для корпусу підшипника на основі наведеного аналізу можна сформулювати такі задачі:

1. Забезпечення правильного відносного розташування оброблених і необроблених поверхонь:

1.1. Симетричність розташування отвору ∅50Н7 відносно зовнішнього контуру головки корпусу.

1.2. Рівномірність товщини фланця (мінімальне коливання розміру 15).

2. Забезпечення точності та взаємного розташування оброблених поверхонь:

2.1. Точність форми і розміру отвору ∅50Н7;

2.2. Точність відстані 40±0,05 мм ($А_4$);

2.3. Точність відстані 53±0,08 мм ($Б_4$);

2.4. Правильне положення осі отвору ∅50Н7 (γ_4, β_4);

2.5. Перпендикулярність торців до осі отвору ∅50Н7 (μ).

Поряд з цим, в залежності від службового призначення і вимог технології, можуть ставитись і вирішуватись й інші задачі, наприклад, забезпечення при

розточуванні рівномірний припуск в отворі ∅50Н7, перпендикулярність кріпильних отворів до площини та ін.

Після виявлення та формулювання технологічних задач, які розв'язуються в процесі виготовлення деталі, потрібно встановити засоби вирішення поставлених задач: вибрати методи і кількість переходів обробки поверхонь, вибрати і обгрунтувати технологічні бази.

12.2.2. Вибір принципової схеми маршруту обробки деталі

Принципова схема маршруту обробки деталі (МОД) – це збільшений план обробки заготовки, що встановлює послідовність операцій (чи груп операцій) обробки різанням, а також зміст і місце в плані обробки термічних, гальванічних, слюсарних та контрольних операцій. Як початковий матеріал при проектуванні принципової схеми маршруту можуть бути використані типові або заводські маршрутні технологічні процеси чи рекомендації літературних джерел щодо поділу технологічного процесу на етапі із зазначенням їх змісту та послідовності. Збільшена типова схема раціональної послідовності етапів обробки заготовок, що узагальнює багаторічний досвід машинобудування, наведена у додатку 19. Як видно з додатку, насамперед обробляють технологічні бази, потім інші поверхні в порядку сходження від початкової точності поверхонь заготовки до тієї, що вимагається кресленням деталі. Найбільш високі квалітети точності мають виконавчі поверхні, за допомогою яких деталь виконує своє службове призначення. Таким чином, побудова МОД повинна бути підпорядкована одному з головних принципів – забезпеченню службового призначення деталі. З цієї причини значний вплив на послідовність операцій технологічного процесу суттєво впливає прийнятий маршрут обробки виконавчих поверхонь деталей [24].

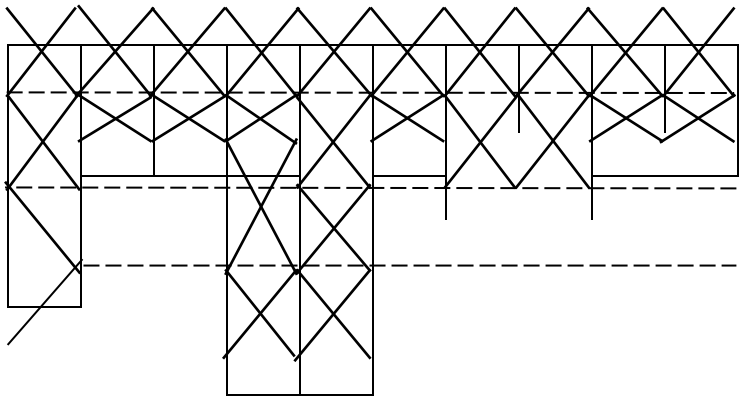
Наведені в додатку етапи необов'язкові для всіх технологічних процесів, оскільки далеко не всі деталі потребують термічної обробки, покриттів та операцій. Для прецизійних заготовок може не бути чорнових, напівчистових і навіть чистових етапів обробки. Маршрут обробки таких заготовок будується з пропуском тих етапів, в яких немає необхідності. Оскільки виконавчі поверхні деталі мають найвищу точність та мінімальну шорсткість, то чистовою або викінчувальною обробкою цих поверхонь і повинен закінчуватись маршрут обробки деталі в цілому. Ті поверхні, точність і шорсткість яких нижча, ніж у виконавчих, закінчують свій маршрут на рівні етапу напівчистової або навіть попередньої обробки.

Звичайно, від цього основного правила побудови МОД можуть бути деякі відхилення. Так, на кінець маршруту часто виносять обробку поверхонь, які легко пошкодити (зовнішні різі тощо). Для деталей досить жорстких часто з метою виявлення внутрішніх дефектів на більш ранніх стадіях обробки призначають чистову обробку відразу ж після напівчистової або попередньої. Так діють при обробці плоскої поверхні на карусельно- і барабанно-фрезерних верстатах. У цьому випадку досягається більш високий ступінь концентрації обробки, зменшується число встановлень деталі, зменшуються затрати на механічну обробку тих деталей, що потім можуть виявитись бракованими через внутрішні дефекти.

Для деталі, яка показана на рис. 12.23, маршрута схема поетапної механічної обробки поверхонь буде мати вигляд, який показаний в табл. 12.6.

Таблиця 12.6

Маршрутна схема поетапної механічної обробки поверхонь деталі, зображеної на рис.12.23

Квалітет точності згідно з ГОСТ 25347-82	Номер поверхні										Номер і етапи згідно з табл.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7											Заготівельний Е2 Чорновий (попередній) Е4 Напівчистовий Е6 Чистовий

В цій таблиці етапи Е1 і Е2 об'єднані в один етап Е2, оскільки заготовка проста за формою, дефекти при знятті першої стружки не передбачаються, точність обробки на етапі Е2 задовольняє вимоги до основних поверхонь деталі.

Етапи Е3 і Е5 виключені, оскільки термічна обробка кресленням деталі не передбачається.

Обробку можна закінчити на Е6, тому що на деталі поверхонь точніше IT7 і Ra – 0,63 мкм немає.

Нарізання різі можна було б віднести до Е7, але ця різь внутрішня, вона захищена від пошкодження, і тому виконати цю обробку можна на ранніх етапах.

12.2.3. Вибір і обгрунтування технологічних баз

Загальні теоретичні відомості

Бази вибирають на початку проектування технологічного процесу одночасно зі встановленням послідовності та методів механічної обробки поверхонь.

Це – найважливіший етап розробки технологічного процесу, від якого залежать:

- фактична точність обробки;
- правильність відносного розташування поверхонь деталі;

- конструкція пристроїв, різального, допоміжного і вимірювального інструментів;
- продуктивність процесу обробки, тобто тривалість проходження оброблюваних заготовок через технологічні системи в процесі забезпечення певних параметрів заготовок.

Вихідними даними при виборі баз є: робоче креслення деталі, технічні умови на її виготовлення, вид заготовки та стан її поверхонь, бажаний ступінь автоматизації.

При виборі вирішують наступні технологічні забезпечення:

1) правильного відносного положення оброблюваних і необроблюваних поверхонь;

2) точності розмірів і відносних поворотів;

3) рівномірності припусків на тих чи інших поверхнях з метою:

- збереження щільного однорідного шару матеріалу на поверхнях деталі, які при роботі в машині інтенсивно спрацьовуються, для підвищення їх стійкості проти спрацювання;
- полегшення досягнення потрібної точності окремих поверхонь і в першу чергу отворів;
- підвищення продуктивності обробки шляхом зменшення об'єму, який підлягає видаленню в процесі обробки;

4) простоти і економічності процесу (простоти пристроїв, різального, допоміжного, вимірювального інструменту).

Необхідно пам'ятати, що такі задачі, як забезпечення точності геометричної форми поверхонь, точності діаметрів, отворів, ширини пазів, шорсткості поверхонь і тощо, практично не залежать від варіанта базування і забезпечуються відповідними технологічними системами (методами обробки). Розв'язок решти задач забезпечується як відповідними методами обробки, так і базуванням заготовки.

Вибір варіанта базування грунтується на орієнтації оброблюваної поверхні відносно баз, які використовуються при її обробці.

Особлива увага приділяється вибору баз на першій операції. За допомогою вибору баз на цій операції необхідно розв'язати такі задачі:

- забезпечити точність поверхонь, які підлягають обробці відносно поверхонь, що залишаються у готовій деталі необробленими;
- рівномірно розподілити припуски на обробку між поверхнями деталі, що підлягають обробці;
- підготувати чисті бази для подальшої обробки решти поверхонь.

Для розв'язання цих задач можна використати такі правила [24]:

1) чорнові бази повинні бути, за можливістю рівними і чистими, на них не повинно бути ліній розняття форм (штампів), задирів, ливників, штампувальних і ливарних нахилів. При порушенні цього правила буде спостерігатись невизначеність базування заготовки;

2) чорнові базові поверхні повинні бути найбільш відповідальними поверхнями готової деталі. В цьому випадку при їх обробці на наступних операціях забезпечуються рівномірність припусків та однорідна за якістю поверхня;

3) для деталей, що мають необроблені поверхні, за чорнові бази необхідно вибирати поверхні, які в готовій деталі залишаються необробленими, а якщо їх декілька – ту з них, яка найбільш точно розташована відносно оброблених поверхонь (тобто зв'язана безпосереднім розміром або умовами паралельності,

перпендикулярності тощо);

4) після першої операції технологічні бази повинні бути замінені. Чорнові бази використовуються одноразово.

При виборі чистових баз потрібно дотримуватись правил [24]:

5) бази повинні забезпечувати можливість обробки з одного встановлення максимальної кількості поверхонь. Ця вимога дістала назву "*Принцип сталості баз*". Дотримання цього принципу підвищує точність обробки за рахунок зменшення похибок встановлення заготовок і підвищує продуктивність обробки за рахунок зменшення числа перевстановлень заготовки в процесі виконання технологічного процесу;

6) за технологічну базу потрібно використовувати конструкторську або вимірювальну базу. Виходячи з цього правила, базами повинні бути вибрані ті поверхні, осі, точки, від яких безпосередньо дається на кресленні розмір (умова), що визначає положення даної оброблюваної поверхні. При цьому необхідні відповідно до креслення розміри одержуються безпосередньо тільки з похибкою методу обробки.

Наведене правило одержало назву "*Принцип суміщення баз"*, оскільки рекомендується суміщати вимірювальну (конструкторську) базу з технологічною. При порушенні цього принципу виникає похибка базування.

Як приклад розглянемо базування деталі, яка зображена на рис. 12.26.

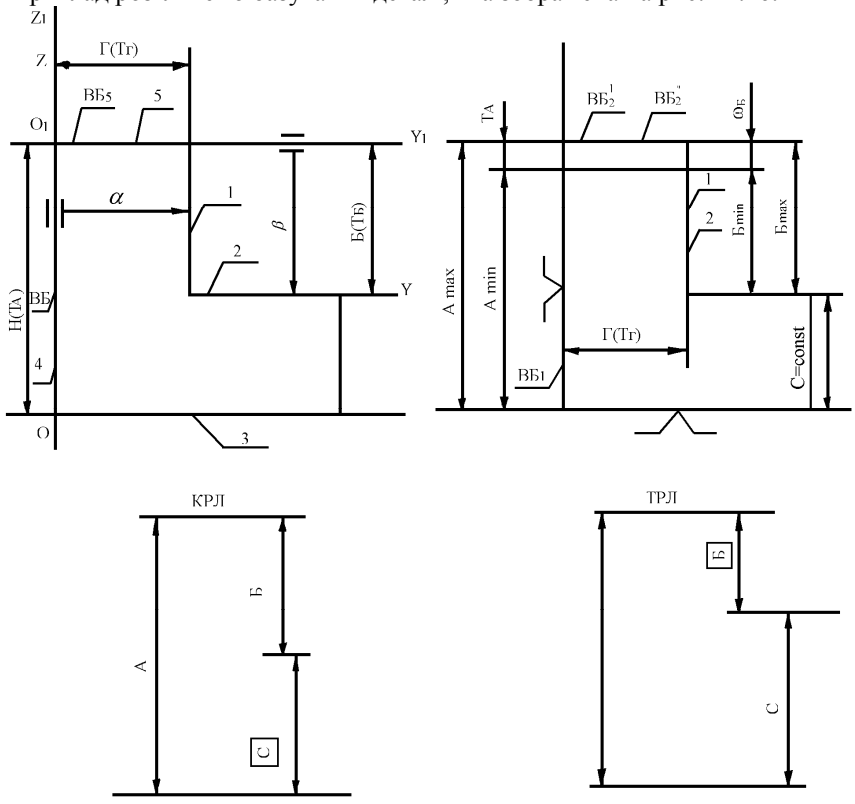


Рис. 12.26. Похибка базування

На операції виконується обробка поверхонь 1 і 2. Необхідно витримати розмір Б з допуском $T_Б$ та розмір Г з допуском $T_Г$, паралельність поверхні 2 відносно вимірювальної бази $ВБ_2$ в межах допуску $T_Б$ (поворот β), паралельність поверхні 1 відносно вимірювальної бази $ВБ_1$ в межах допуску $T_Г$ (поворот γ).

За установчу базу приймаємо поверхню, яка має максимальні габаритні розміри, тобто поверхню 3, за напрямну – поверхню 4. Такий вибір диктується простотою пристрою, стійкістю та жорсткістю заготовки в процесі обробки, що забезпечує роботу на оптимальних режимах.

З рисунка видно, що поверхня 1 координована відносно системи координат ZOY, поверхня 2 – відносно $Z_1O_1Y_1$, тобто має місце порушення принципу суміщення баз. Вимірювальна база не збігається з технологічною установчою.

Заготовка поступає на операцію з розміром А, який може коливатись в межах допуску від Amin до Amax, фреза настроюється на розмір С = const.

При обробці маємо плаваючу вимірювальну базу. Похибка при отриманні розміру Б дорівнює:

$$\varepsilon_{бБ} = Б\max - Б\min.$$

Ця похибка повинна бути менша за допуск на розмір Б, тобто:

$$\varepsilon_{бБ} < T_Б.$$

Якщо $\varepsilon_{бБ} > T_Б$, то будемо мати брак, який не залежить від методу обробки і точності настроювання.

Таким чином, *похибка базування* – це різниця граничних відстаней від вимірювальної бази до різальних кромок встановленого на розмір інструменту:

$$\varepsilon_{бБ} = T_A.$$

Похибка базування чисельно дорівнює допуску розміру, який безпосередньо зв'язує технологічну та вимірювальну бази. Тому:

$$\varepsilon_{бГ} = 0.$$

У загальному випадку:

$$\varepsilon_б = T_A \cos\alpha,$$

де T_A – допуск на розмір, що безпосередньо з'єднує вимірювальну і технологічну бази;

α – кут між технологічною та вимірювальною базами.

7) *Коли з будь-яких причин неможливо встановити заготовку (деталь) на вимірювальну базу, за технологічну базу* можна прийняти будь-яку іншу поверхню, але з обов'язковим дотриманням двох умов.

Умова 1. Допуск безпосередньо не витримуваного конструкторського розміру повинен бути більший за суму похибок базування та обробки. В нашому прикладі (рис. 12.26):

$$T_Б \geq \varepsilon_{бБ} + \varepsilon_{мет} = T_A + \varepsilon_{мет};$$

$$T_Г \geq \varepsilon_{бГ} + \varepsilon_{мет} = \varepsilon_{мет}.$$

Ця умова застосовується для перевірки можливості використання поверхонь 3 і 4 як технологічних баз. Якщо умова 1 не дотримується, то поверхні 3 і 4 не можна використовувати як технологічні бази.

В цьому випадку необхідно:

- підвищити точність методу на операції, де отримується розмір А (зменшити T_A);
- підвищити точність методу даної операції (зменшити $\varepsilon_{мет}$);
- змінити технологічний процес таким чином, щоб виключити похибку

базування, тобто працювати за конструкторським розмірним ланцюгом. Цю умову можна виконати двома способами: виготовити спеціальний пристрій, або обробити поверхні 1, 2, 5 набором інструментів з одного встановлення.

Умова 2. Необхідно виявити і розв'язати технологічний розмірний ланцюг з метою визначення номіналу і відхилення розміру С, що допускаються. Якщо в результаті розрахунку виявиться, що $T_C \geq \varepsilon_{мет}$, то метод може забезпечити потрібну точність, якщо ні – необхідно підвищити точність методу (зменшити $\varepsilon_{мет}$).

Якщо обидві ці умови виконані, то використання як технологічних баз поверхонь 3 і 4 можливе.

8) у першу чергу потрібно вибирати технологічні бази для досягнення потрібної точності відносних поворотів поверхонь деталей, а потім – для досягнення точності розмірів, які зв'язують поверхні. Ця необхідність викликана тим, що точність ланок-розмірів досягається простіше – методом регулювання (за лімбом), у той час як точність відносних поворотів (паралельність, перпендикулярність) залежить від верстата і досягається методом повної або неповної взаємозамінності;

9) чим точніший розмір, який зв'язує технологічну базу з оброблюваною поверхнею, тим більшого числа ступенів вільності повинна база позбавляти заготовку;

10) бази потрібно вибирати так, щоб забезпечити найменші деформації заготовок від сил різання та закріплення. Для виконання цього правила бази повинні мати достатню протяжність та бути розташованими якнайближче до оброблюваних поверхонь. Необхідно домагатись, щоб сили різання та затискання спричиняли виникнення в матеріалі заготовки тільки напруг стискання, для чого силам протиставити реакції опор;

11) якщо потрібно обробити дві або декілька поверхонь, які відрізняються габаритами, використовуючи їх по черзі як бази, то спочатку потрібно базувати заготовку на поверхні, які мають більші розміри; виконання цього правила веде до зменшення об'єму знятого матеріалу, що в результаті, впливає на продуктивність та економічність обробки;

12) для підвищення точності встановлення за бази потрібно приймати поверхні простішої форми (площини, циліндри), які завжди мають вищу точність;

13) за відсутності у заготовки надійних технологічних баз можна створювати штучні бази, наприклад, у вигляді бобишок, технологічних і центрових отворів тощо.

Одночасно реалізувати всі перелічені рекомендації неможливо, тому розробляється декілька варіантів базування і проводиться аналіз кожного з них. На основі аналізу цих варіантів вибирається найдоцільніший.

Обгрунтовано вибирати той чи інший варіант базування можна на основі кількісних, а не якісних показників.

Алгоритм вибору варіанту базування [3]

1. Виходячи зі службового призначення деталі, за кресленням виявляють розмірні зв'язки поверхонь, встановлюють точнісні параметри цих зв'язків, їх важливість див. п. 2.2.1.

2. Визначають задачі, які необхідно розв'язати при обробці та розв'язання яких залежить від базування, а також склад задач, чітко їх формулюють.

3. Вибравши для розв'язання одну із задач, знаходять місце в технологічному процесі, де задача одержує свій кінцевий розв'язок.

4. Йдучи від цього місця до початку обробки, до першої операції, а якщо потрібно, то й до технологічного процесу одержання вихідної заготовки (її креслення), виявляють розмірні зв'язки, які виникають при цьому. Розвиток розмірних зв'язків завершується на операції, де невідомий операційний розмір одержується як замикальна ланка розмірного ланцюга технологічної системи, або ливарної чи ковальської системи одержання вихідної заготовки.

Креслять теоретичні схеми базування заготовки за наміченими варіантами. На наведених ескізах для кожного наміченого варіанта базування виявляють і будують розмірні ланцюги, в яких вихідними ланками є необхідні параметри.

5. Розраховуючи виявлені технологічні розмірні ланцюги, визначають кількісне значення похибки параметра за різних варінтів базування.

6. Вибирають оптимальний варіант базування. Критеріями вибору одного з декількох варіантів є:

- більша точність обробки;
- більш рівномірний розподіл припусків між оброблюваними поверхнями;
- більша простота реалізації теоретичної схеми базування за допомогою пристрою;
- придатність тієї чи іншої поверхні для використання за базу.

Розраховані похибки параметрів, які відповідають різним схемам базування, потрібно звести у таблицю. Аналізуючи наведені в таблиці відхилення всіх параметрів, вибирають прийнятні варіанти базування. Аналізують також вплив цих відхилень на якість деталі. Мета аналізу – перевірка забезпеченості заданої точності деталі при обробці від вибраних баз.

Якщо всі варіанти забезпечують задану точність, то з них вибирають такий, при якому технологічний процес виготовлення деталі буде простішим і дешевшим (простіше оснащення, дешевий верстат тощо).

Послідовність вибору технологічних баз

Використовуючи дані отримані в п. 2.2.1 та 2.2.2, та теоретичні відомості п. 2.2.3, можна рекомендувати таку послідовність вибору технологічних баз:

- за результатами аналізу креслення деталі розглянути основні конструкторські (вимірювальні) бази як технологічні. У першу чергу розглянути ті бази, від яких проставлено найбільшу кількість розмірів;
- виявити які поверхні деталі можна обробити від цих баз (як технологічних), за принципом сталості баз, за принципом суміщення баз;
- розглянути інші конструкторські бази і виявити, які поверхні можна обробити від них за тими ж принципами;
- якщо ще залишились необроблені поверхні, то вибрати для них бази не дотримуючись вищезгаданих принципів, але при цьому треба зробити перевірку за двома умовами (правило 7), чи можна їх використовувати як технологічні бази;
- після того, як вибрані чистові бази, відшукати ті поверхні, які можуть бути чорновими базами для обробки чистових.

В результаті виконання цієї роботи буде отримано декілька варіантів технологічних баз.

Далі потрібно:

- проаналізувати, які технологічні задачі забезпечує кожен з варіантів

базування;

- результати попереднього вибору технологічних баз занести в табл. форми 12.7;
- для найвідповідальніших технологічних задач за допомогою розмірних ланцюгів з намічених декількох варіантів відібрати кращий.

Приклад вибору та обгрунтування технологічних баз при обробці корпусу (рис. 12.23)

1. Основними конструкторськими базами корпусу є основа (поверхня 1) і отвори ∅10Н7.

Для корпусних деталей схема базування на площину і отвори з перпендикулярними до неї осями (тобто повна схема) дуже поширена, тому за один з варіантів ми приймаємо цю схему.

2. За такою схемою базування за принципом сталості баз можна обробити поверхні: 2, 5, 6, 9, 7, 8.

3. Залишились необроблені поверхні: 1, 3, 4, 10, 11.

Поверхню 1 треба обробити від чорнових баз, ними можуть бути поверхні 2, 5 і торці корпусу.

Поверхні 3, 4 можна обробити від чистої поверхні 1 і від чорної поверхні отвору ∅50Н7.

Поверхні 10, 11 можна обробити від чистої поверхні 7 і отвору ∅50h7.

4. Поверхню 8 можна обробити від чорної поверхні 7, а поверхню 7 – від чистої поверхні 8.

5. Поверхні 5, 6 можна обробити від поверхні 8, а поверхню 5 – від поверхні 7.

Таким чином, ми маємо декілька варіантів базування, відображаємо результати вибору в таблиці форми 12.7 та аналізуємо, як забезпечується виконання основних технологічних задач (згідно п. 2.2.1).

Примітки:

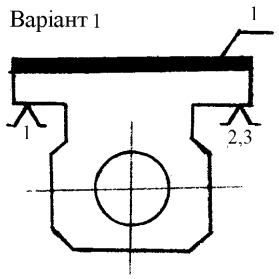
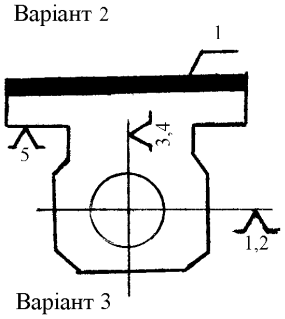
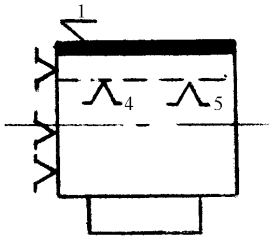
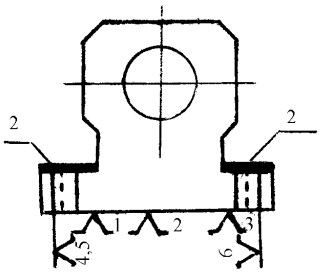
1. Вибрані схеми базування забезпечують виконання основних технологічних задач, визначених в п. 2.2.1.

2. Виконання деяких технологічних задач може бути забезпечене різними схемами базування, тому треба провести їх аналіз, прийняти кращу.

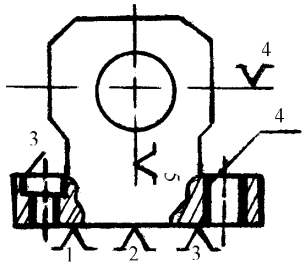
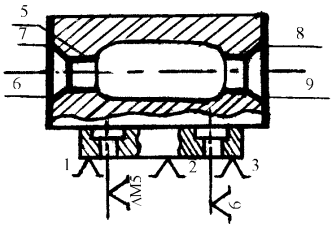
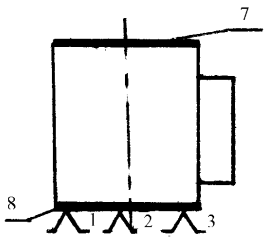
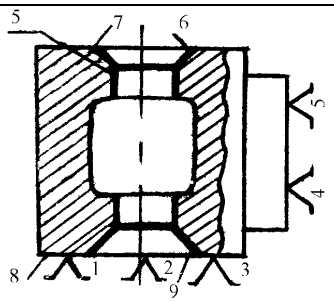
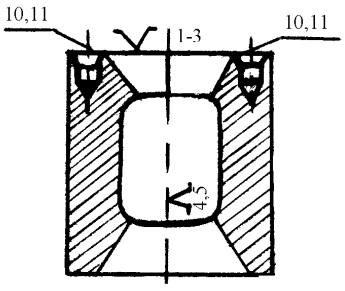
3. Задачі 1.1, 1.2, 2.2 – 2.5 (п. 2.2.1) забезпечуються за рахунок базування, а для виконання задачі 2.1, крім базування, потрібно призначити відповідні методи обробки та технологічну систему.

Таблиця 12.7

Варіанти базування при виготовленні деталі (корпус) (рис. 12.23)

Номер поверхні	Варіанти базування (теоретичні схеми) (№ варіантів)	Номер технологічної задачі, що забезпечується (згідно з п. 3.3.1)
1	2	3
1	Варіант 1  Варіант 2  Варіант 3  	1.2 1.1
2	 	1.2

Закінчення табл. 12.7

1	2	3
3,4		2.3
5, 6, 9, 7, 8		2.1 2.2 2.4 2.5
7, 8		2.5
5, 6, 9		2.5
10, 11		

Приклад аналізу варіантів базування за допомогою розмірних ланцюгів (деталь – корпус) (рис. 12.23)

Задача 1. Забезпечити рівномірність припуску в отворі корпусу ($\varepsilon_z \rightarrow \varepsilon_{min}$) [3].

Розв'язання

Нерівномірність припуску в отворі корпусу може бути у вертикальній і горизонтальній площинах. Тому її визначають за формулою:

$$\varepsilon_z = \sqrt{(\varepsilon_z^{\ b})^2 + (\varepsilon_z^{\ r})^2} ,$$

де $\varepsilon_z^{\ b}$, $\varepsilon_z^{\ r}$ – коливання припуску відповідно у вертикальній та горизонтальній площинах.

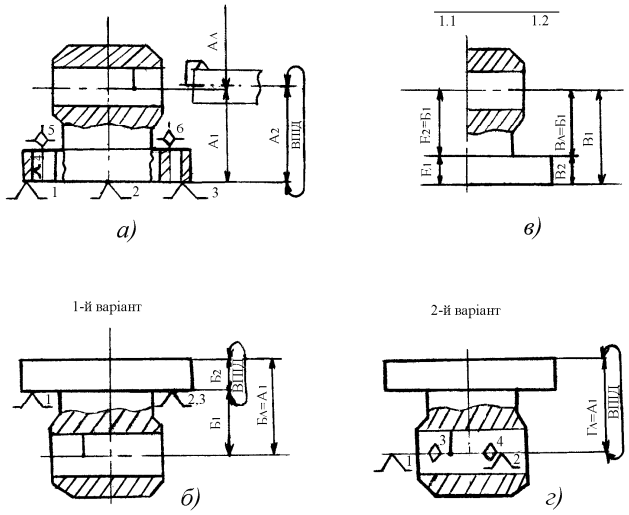


Рис. 12.27. До вибору варіанта базування корпусу

Для простоти розглянемо нерівномірність припуску у вертикальній площині.

Нерівномірність припуску проявляється на операції розточування отвору у вигляді відносного зміщення осі отвору в заготовці та осі обертання борштанги з різцем ($А_\Delta$ на рис. 12.27, *а*):

$$А_\Delta = А_2 – А_1,$$

де $А_1$ – відстань між віссю отвору в заготовці до обробки і технологічною базою;

$А_2$ – відстань між віссю обробленого отвору і технологічною базою.

$$\varepsilon А_\Delta = \varepsilon А_1 – \varepsilon А_2.$$

Точність відстані $А_2$ повністю залежить від розточувальної технологічної системи і дорівнює похибці методу одробки $\varepsilon МА_2$. Розмір $А_1$ виникає при обробці площини основи, яка виконується на першій операції. При цьому можливі два реальних варіанти базування заготовки.

За першим варіантом (рис. 12.27, *б*) відстань $А_1$ одержується як замикальна ланка $Б_\Delta$ триланкового розмірного ланцюга Б, де $Б_2$ – витримуваний розмір при обробці

заготовки на налагодженому верстаті, $Б_1$ – розмір вихідної заготовки, одержаний при литті:

$$\varepsilon A_1 = \varepsilon Б_\Delta = \varepsilon Б_1 - \varepsilon Б_2.$$

Точність розміру $Б_1$ досягається при литті і визначається проставлення розмірів на кресленні вихідної заготовки, яка може бути двох видів (1.1 і 1.2 на рис. 12.27, *в*).

За першим варіантом:

$$\varepsilon Б_1 = \varepsilon E_2 = \varepsilon_{мет} E_2,$$

за другим:

$$\varepsilon Б_1 = \varepsilon B_\Delta = \varepsilon B_1 + \varepsilon B_2.$$

Тоді:

$$\varepsilon A_1^{1.1} = \varepsilon_{мет} E_2 + \varepsilon_{мет} Б_2$$

$$\varepsilon A_1^{1.2} = \varepsilon_{мет} B_1 + \varepsilon_{мет} B_2 + \varepsilon_{мет} Б_2.$$

Точність розміру A_1 за другим варіантом базування одержується як замикальна ланка розмірного ланцюга технологічної системи:

$$\varepsilon A_1^{(2)} = \varepsilon_{мет} A_1.$$

Виходячи з цього:

$$\varepsilon_2^{1.1} = \varepsilon A_\Delta = \varepsilon_{мет} A_2 + \varepsilon_{мет} E_2 + \varepsilon_{мет} Б_2;$$

$$\varepsilon_2^{1.2} = \varepsilon A_\Delta = \varepsilon_{мет} A_2 + \varepsilon_{мет} B_1 + \varepsilon_{мет} B_2 + \varepsilon_{мет} Б_2;$$

$$\varepsilon_2^{(2)} = \varepsilon A_\Delta = \varepsilon_{мет} A_2 + \varepsilon_{мет} Г_\Delta.$$

Числові значення можливих похибок можуть бути знайдені за допомогою нормативів середньої економічної точності різних методів обробки і допусків на розміри відливок. Але вже й без цього видно, що:

$$\varepsilon_z^{(2)} << \varepsilon_z^{1.1} < \varepsilon_z^{1.2},$$

тобто другий варіант базування заготовки на першій операції забезпечує досить прийнятне рішення поставленої задачі.

Задача 2. Забезпечити рівномірність товщини полички ($\varepsilon_к \rightarrow \min$) [3].

Розв'язання

Задача розв'язується на першій операції при обробці підошви основи. При цьому можливі варіанти базування: на необроблену поверхню полички (рис. 12.28, *а*) і на вісь виливаного отвору (рис. 12.28, б):

$$\varepsilon_K' = \varepsilon_{мет};$$

$$\varepsilon_K^{(2)} = \varepsilon_{м1} + \varepsilon_{м2} = \varepsilon_{м1} + \varepsilon_{метм2}.$$

Точність розміру M_1 досягається при литті і визначається проставленням розмірів на кресленні вихідної заготовки, яка може бути двох видів (2.1 і 2.2 на рис. 12.28, *в*). Тоді:

$$\varepsilon_к^{2.1} = \varepsilon_{мет} A_2 + \varepsilon_{мет} M_2;$$

$$\varepsilon_к^{2.2} = \varepsilon_{мет} H_1 + \varepsilon_{мет} H_2 + \varepsilon_{мет} M_2;$$

$$\varepsilon_к^1 << \varepsilon_к^{2.1} \le \varepsilon_к^{2.2},$$

тобто базування за першим варіантом забезпечує найдоцільніше розв'язання задачі 2. В той же час, цей варіант погано вирішує задачу 1, що й підтверджує висновок, що варіанта, за яким можна розв'язати всі задачі, не існує.

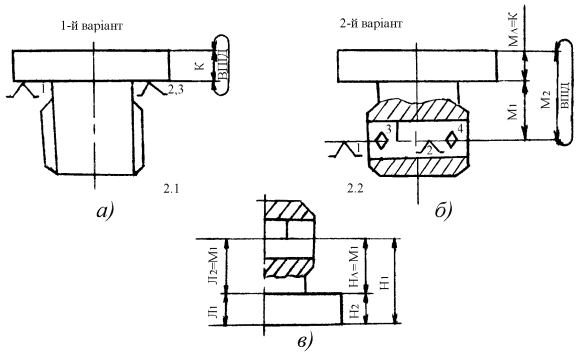


Рис. 12.28 До вибору варіанта базування корпусу

Задача 2.5 (п. 2.2.1). Вибрати варіанти базування для забезпечення перпендикулярності торців до осі отвору ∅50Н7 (параметр μ) (рис. 12.29) [3].

Розв'язання

Задача остаточно розв'язується на операції чистового розточування отвору ∅50Н7. Оскільки параметр μ представляє собою перпендикулярність, необхідно розглядати її забезпечення у вертикальній та горизонтальній площинах з наступним підсумовуванням одержаних похибок.

За першим варіантом базування заготовки при розточуванні отвору і фрезеруванні торців здійснюється на площину основи К і два отвори ∅10Н7 (див. рис. 12.29).

У вертикальній площині параметр μ буде виступати як замикальна ланка відповідного ланцюга поворотів (див. рис. 12.29, *а*):

$$\varepsilon^{B}\mu_{\Delta} = \varepsilon^{B}\mu_{1} + \varepsilon^{B}\mu_{2},$$

де $\varepsilon^{B}\mu_{\Delta 1}$ – похибка ланки $\mu_{\Delta 1}$ у вертикальній площині за першим варіантом базування;

$\varepsilon^{B}\mu_{1}$, $\varepsilon^{B}\mu_{2}$ – похибки ланок μ_{1}, μ_{2} у вертикальній площині.

При розточуванні безпосередньо буде одержана ланка μ_{2}, яка виступає як замикальна в ланцюзі поворотів ланок системи ВПІД. Тому похибка її виконання $\varepsilon\mu_{2}$ може бути прийнята такою, що дорівнює похибці системи, тобто похибці (за перпендикулярністю) методу обробки на операції розточування (рис. 12.29, *а*):

$$\varepsilon\mu_{2} = \varepsilon_{\Delta Bпір} = \omega_{мет.опер.розточ}.$$

Ланка μ_{1} (перпендикулярність торця до площини основи) остаточно утворюється при фрезеруванні торця. Тому похибка ланки $\varepsilon\mu_{1}$ буде залежати від базування на операції фрезерування (рис. 12.29, *в*):

$$\mu_{1} = \eta; \qquad \varepsilon_{\eta} = \varepsilon_{\Delta Bпі} = \varepsilon_{мет.фр.}; \qquad \varepsilon\mu_{1} = \varepsilon_{мет.фр}.$$

Тоді:

$$\varepsilon\mu_{\Delta 1} = \varepsilon_{мет.фр.} + \varepsilon_{мет.розточ}.$$

У горизонтальній площині параметр μ також буде одержаний як замикальна ланка відповідного ланцюга поворотів К (див. рис. 12.29, *б*):

$$\varepsilon^{2}\mu_{\Delta 1} = \varepsilon_{K\Delta} = \varepsilon_{K1} + \varepsilon_{K2},$$

де $\varepsilon^{2}\mu_{\Delta 1}$ – похибка ланки μ_{Δ} у горизонтальній площині за першим варіантом базування.

При розточуванні безпосередньо буде одержана ланка $К_2$ – перпендикулярність осі отвору ∅50Н7 до загальної осі отворів ∅10Н7, які представляють собою базу.

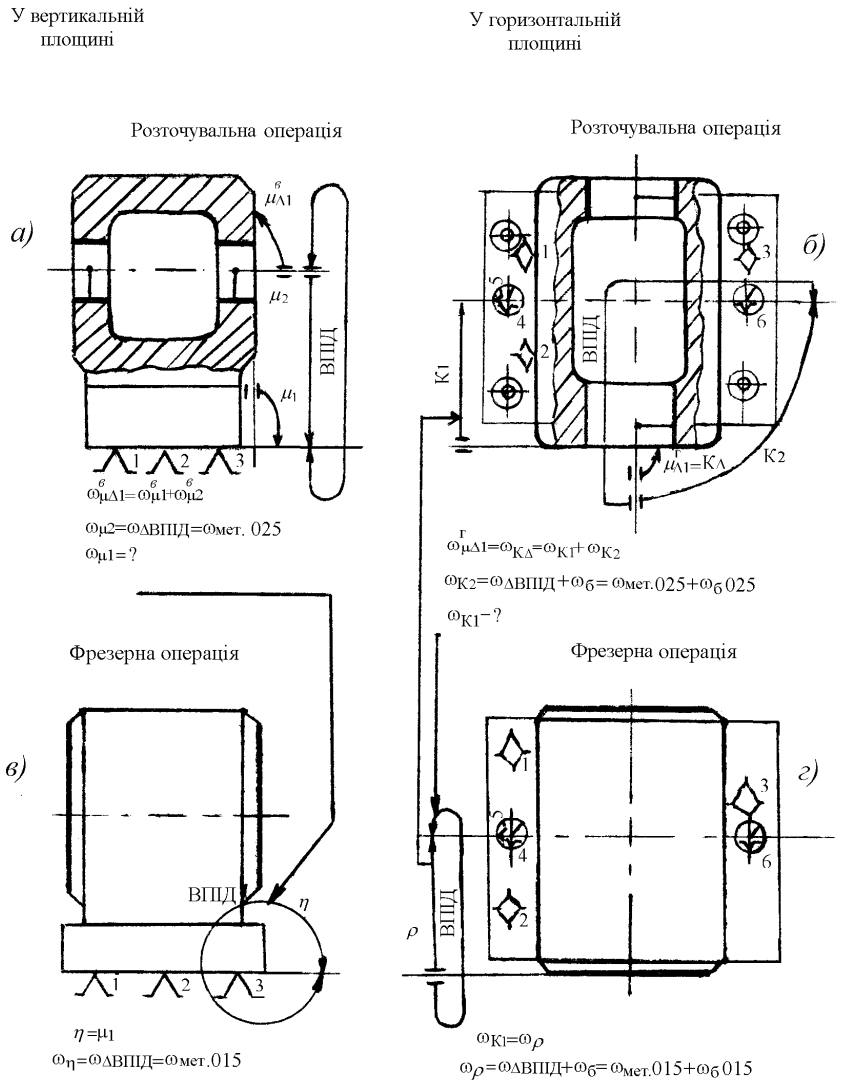


Рис. 12.29. Технологічні ланцюги поворотів за варіантом 1 базування корпусу

Тому похибка його виконання $\varepsilon_{К2}$ може бути прийнята такою, що дорівнює похибці методу обробки (за перпендикулярністю) на операції розточування. У зв'язку з тим, що за базу прийняті отвори ∅10Н7 (встановлення на два пальці), а не їх осі, внаслідок гарантованих зазорів між отворами і установчими пальцями виникає похибка базування $\varepsilon_{б.розт.}$, яка викликає додаткову похибку в розташуванні торця і отворів.

У вертикальній площині $\omega^{в}_{\mu\Delta 2}=\omega^{в}_{\mu\Delta 1}$

У горизонтальній площині

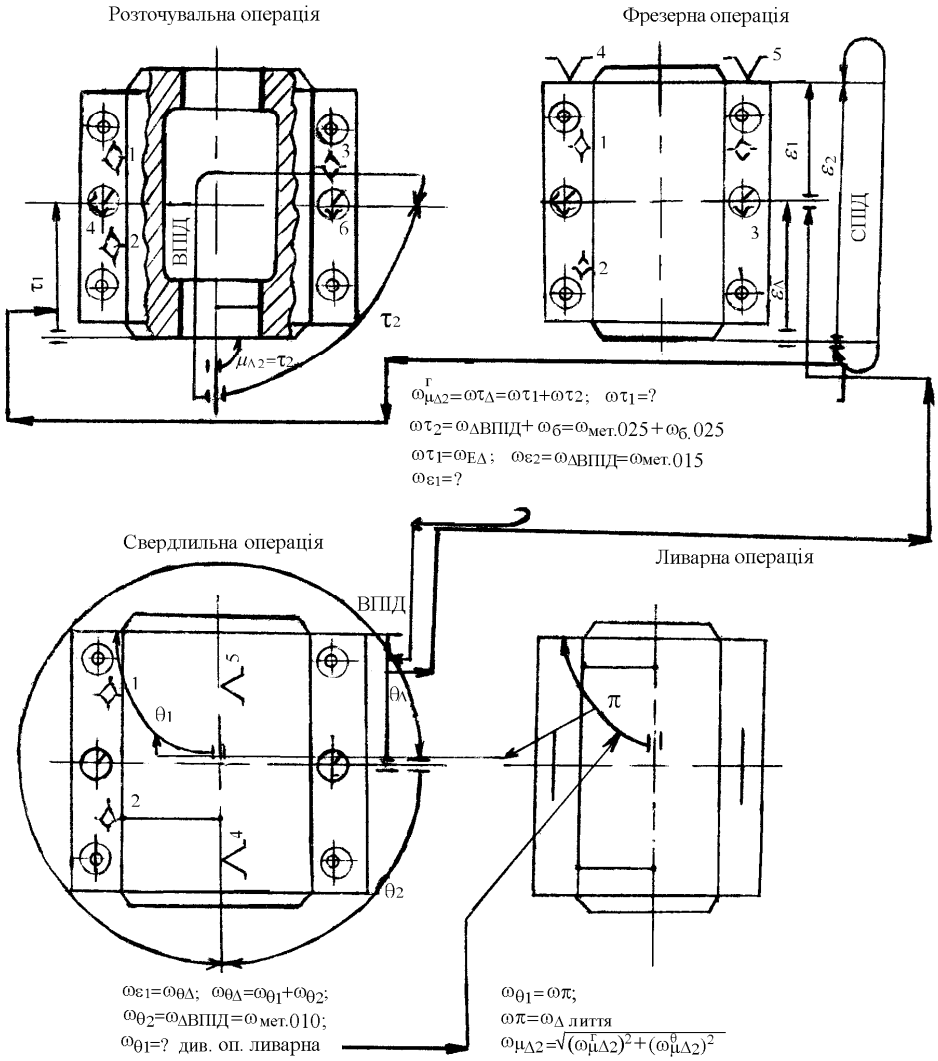


Рис. 12.30. Технологічні ланцюги поворотів за варіантом 2 базування корпусу

Тоді:

$$\varepsilon_{K2} = \varepsilon_{мет.розт.} + \varepsilon_{б.розточ.}$$

Неперпендикулярність, викликана похибкою базування, визначається з геометричних міркувань. Ланка K_1 – паралельність торців до площини, яка проходить через осі отворів ∅10Н7 – утворюється на операції фрезерування і його похибка

залежить від базування заготовки на цій операції.

За першим варіантом базування:

$$\varepsilon_{K1} = \varepsilon_{мет.фр.} + \varepsilon_{б.фр.}$$

Тоді:

$$\varepsilon^2\mu_{\Delta 1} = \varepsilon_{мет.фр.} + \varepsilon_{б.фр.} + \varepsilon_{мет.розт.} + \varepsilon_{б.розт.}$$

Відхилення від перпендикулярності торців до осі отвору ∅50Н7 за першим варіантом базування визначається додаванням $\varepsilon^B\mu_{\Delta 1}$ і $\varepsilon^2\mu_{\Delta 1}$ за правилом квадратного кореня:

$$\varepsilon\mu_{\Delta 1} = \sqrt{\left(\varepsilon^B\mu_{\Delta 1}\right)^2 + \left(\varepsilon^2\mu_{\Delta 1}\right)^2}\ .$$

Якщо одержане значення $\varepsilon\mu_{\Delta 1}$ менше допустимого (Тμ), то варіант базування прийнятний.

Розв'язання задачі 2.5 за другим варіантом базування здійснюється аналогічно наведеному (див. рис. 12.30):

$$\varepsilon\mu_{\Delta 2} = \sqrt{\left(\varepsilon^B\mu_{\Delta 2}\right)^2 + \left(\varepsilon^2\mu_{\Delta 2}\right)^2}\ .$$

Природно, що задача 2.5 (як і будь-яка інша) розв'язується найкоротшим шляхом (і, отже, найбільш точно) при дотриманні принципу сумісності баз, тобто прийнявши за базу на операції розточування один із торців отвору ∅50Н7.

Похибки ланок розмірних ланцюгів встановлюють за таблицями економічної точності методів механічної обробки та точності заготовок. За відсутності на кресленні числових значень допусків розташування (відносних поворотів) треба приймати їх за довідником [6].

12.2.4. Вибір методів і числа ступенів обробки поверхонь (МОП)

До різних поверхонь висуваються різні вимоги, які забезпечуються різними методами обробки, до того ж одні й ті ж самі вимоги можна задовольнити різними комплектами технологічних методів обробки. Тому розробка методів і маршрутів обробки поверхонь – це складний і відповідальний етап у створенні технологічного процесу.

Можливі два шляхи пошуків рішення про методи обробки поверхонь (МОП).

Перший шлях пошуку визначення числа ступенів обробки на основі розрахунків уточнення [24]:

$$K_{TC} = \frac{T_з}{T_q} = \frac{T_з}{T_1}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\ldots\cdot\frac{T_{i-1}}{T_i} = K_{TC1}K_{TC2}\ldots K_{TCi}\ldots K_{TCn} = \prod_1^n K_{TCi}\ ,$$

де K_{TC} – загальне уточнення;

K_{TCi}– окремі ступені уточнення;

n – число ступенів обробки;

$T_з$, T_q, T_i – допуски параметра, що розглядається відповідно до заготовки, деталі, і-го ступеня обробки.

Розділяючи загальне уточнення на співмножники (ступені), потрібно враховувати типові рекомендації [24]: для першого ступеня чорнової обробки досяжною є величина уточнення $K_{TC} < 6$; для проміжних ступенів напівчистової обробки $K_{TC} = 3...4$; для ступенів чистової обробки з допусками точності IT5...IT7 $K_{TC} = 2$.

При розрахунках уточнень для співвісності ступенів валів або отворів, що обробляються різцями за одне встановлення на одній позиції, а також уточнень для

похибки форми поперечного перерізу можна скористатися формулою [26]:

$$K_{TC} = T_{i-1}/T_i = j_c(C_{py}S^{ypy}),$$

де j_c – жорсткість системи в розрахунковому перерізі;

C_{py} – коефіцієнт для сили різання;

S – подача, мм/об;

ypy – показник ступеня;

T_{i-1} і T_i – характеристики точності (співвісності або форми поперечного перерізу) відповідно на попередньому на тому, що розглядається, ступені обробки.

Приклад. Визначити комплекс методів при виготовленні вала $Dq = 50_{-0,017}$ мм з вихідної заготовки $D_з = 54^{+0,4}_{-1,0}$ мм.

Розв'язання

1. Визначимо розрахункове уточнення:

$$K_{TCp} = \frac{1,4}{0,017} = 82.$$

2. Знаходимо регламентовану послідовність обробки і технологічні допуски за [3, табл. 12.1]:

- чорнове обточування $T_1 = 0,4$ мм;
- чистове обточування $T_2 = 0,2$ мм;
- попереднє шліфування $T_3 = 0,05$ мм;
- кінцеве шліфування $T_4 = 0,017$ мм;

3. Визначаємо уточнення за операціями:

$$K_{TC1} = \frac{T_3}{T_1} = \frac{1,4}{0,4} = 3,5; \qquad K_{TC2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{0,4}{0,2} = 2,0;$$

$$K_{TC3} = \frac{T_2}{T_3} = \frac{0,2}{0,05} = 4,0; \qquad K_{TC4} = \frac{T_3}{T_4} = \frac{0,05}{0,017} = 3,0.$$

Тоді уточнення всього процесу:

$$K_{TC1} \cdot K_{TC2} \cdot K_{TC3} \cdot K_{TC4} = 3,5 \cdot 2,0 \cdot 4,0 \cdot 3,0 = 84 > K_{TCp} = 82.$$

Таким чином, прийнятий комплекс методів забезпечить необхідну точність.

Аналогічно визначають комплекси методів за відносними поворотами, шорсткістю тощо.

Іноді загальне число ступенів обробки визначають за спрощеною формулою [26]:

$$n = \frac{lqK_{TC}}{0,46}.$$

Після чорнової обробки точність збільшується з IT15 до IT11 (4 квалітети), після напівчистової обробки – з IT11 до IT9 (2 квалітети), після чистової обробки – з IT9 до IT7 (2 квалітети), що цілком відповідає рекомендаціям вибору етапів обробки (див. додаток 19).

Але при розробці технологічного процесу на етапі вибору МОП ще невідомі розміри заготовки і допуски операційних розмірів, які потрібні для визначення загального уточнення K_{TC} і уточнення за окремими ступенями обробки.

Для визначення загального уточнення K_{TC} на цьому етапі потрібно скористатися даними табл. 12.6.

Наприклад, поверхня 1 (рис. 12.23) задана розміром 40h17. Маємо допуск 2500 мкм, на розмір деталі маємо допуск ±0,05 мм, тобто 100 мкм, загальне уточнення

буде дорівнювати $К_{ТС} = 2500/100 = 25$.

Розподіл загального уточнення між переходами здійснюється згідно з рекомендаціями, викладеними вище.

Таким чином, визначають загальні уточнення для всіх оброблюваних поверхонь.

Другий шлях пошуку полягає у використанні типових планів обробки поверхонь, що рекомендують довідники та технічна література. В додатку 20 наведені встановлені практикою комплекти параметрів якості на суміжних переходах.

Як правило, для досягнення однієї й тієї ж кінцевої мети можливі декілька варіантів МОП (див. додатки 21–23). При цьому число переходів при обробці поверхні в різних варіантах може виявитись різним.

При використанні другого шляху призначення МОП можна рекомендувати наступне:

- всі поверхні пронумерувати, поверхні поділити на класи (плоскі, циліндричні, конічні, зовнішні, внутрішні та ін.), для яких підібрати поверхні-представники. Це, як правило, виконавчі поверхні. Прийняті рішення для виконавчих поверхонь поширити на всі поверхні відповідного класу;
- призначити в декількох варіантах методи обробки поверхонь-представників, користуючись додатками 21–23 і враховуючи прийняті схеми базування.

При виконанні цієї роботи потрібно мати на увазі такі поради:

- якщо точність заготовки невисока, обробку починають з попередніх операцій (чорнових), точну заготовку потрібно починати з чистової, а може навіть і з фінішної;
- кожен наступний метод повинен бути більш точним, ніж попередній. Допуск попереднього етапу повинен бути таким, щоб було можливо нормально використати наступний метод. Наприклад, не можна здійснити чистове розвертання після чорнового розточування, в такому випадку зубці розвертки працювали б з недопустимою глибиною різання, що не забезпечить ні точності, ні шорсткості. В даному випадку потрібно виконати такі операції: чорнове розточування, чистове розточування, чорнове розвертання, чистове розвертання;
- вибирають ті методи обробки, де шлях досягнення кінцевої мети коротший. В той же час можливі варіанти МОП перевіряють на технологічну сумісність та можливість застосування цих рішень для інших поверхонь того ж типу. Повторюваність методів обробки бажано мати максимальну. Це скорочує номенклатуру необхідного різального інструменту та дає змогу проектувати технологічний процес за принципом концентрації операцій з максимальним суміщенням обробки різних поверхонь, зменшує кількість встановлень, збільшує продуктивність та точність обробки;
- МОП обгрунтовують економічно, але підходити до цього треба обережно, оскільки сукупність методів може дати інший результат, ніж розгляд їх окремо.

Таблиця 12.8

Визначення методів обробки поверхонь деталі (рис. 2.23)

№ по-верх-ні	Розмір поверхні квалітет точності	Допуск заготовки $T_з$, мкм	Допуск деталі T, мкм	Уточнення K_{TC}	Кіль-кість пере-ходів	Варіанти методів обробки поверхонь					
						1	K_{TCi}	2	K_{TCi}	3	K_{TCi}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	15	1800	430	4,2	2	Стругання чорнове Стругання чистове	5 8	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	5 3	Протягування	5
2	15	1800	430	4,2	2	Стругання одноразове	5	Фрезерування одноразове	5	Цекування	5
3	17	–	430	–	1	Свердління (за відсутності отвору)		Зенкерування (при наявності отвору у виливка)	3	Розточування (при наявності отвору у виливка)	3
4	10Н7	–	15	–	3	Свердління Зенкерування Розвертання	– 3 1,5	Зенкерування Розвертання	3 1,5	Свердління Розточування	– 1,5
5	50Н7	3000	30	100	2 2 1	Розточування чорнове Розточування чистове Розточування тонке	5 3 2	Зенкерування чорнове Зенкерування чистове Розвертання точне Розвертання тонке	5 3 2 1,5	Зенкерування одноразове Протягування	5 5-3-1,5
6 9	53	460	120	3,8	1	Точіння	5	Цекування	5	_	
7 8	90	3500	500	7	2	Фрезерування чорнове Фрезерування чистове	5 3	Точіння чорнове Точіння чистове	5 3	Цекування чорнове Цекування чистове	5 3
10 11	М5 7Н	–	100	–	2	Свердління Нарізання різей					

Поле допусків за ГОСТ 25346-82 / СтСЭВ 145-75

Приклад розробки МОП для корпусу (рис. 12.23).

Розглянемо на прикладі деталі, що зображена на рис. 12.23, вибір МОП із застосуванням двох шляхів. Деталь – із сірого чавуну СЧ18 згідно з ГОСТ1412. Маса – 3,4 кг. Заготовка – виливок. Запланований випуск – 5000 шт.

Можливі варіанти МОП вибираємо із врахуванням прийнятих технологічних баз. Результати вибору наведені в табл. 12.8.

Остаточне визначення МОП буде здійснене при розробці маршруту обробки деталі (MOD), і обов'язково це питання буде вирішуватись за умови комплексної обробки поверхонь.

12.2.5. Вибір варіантів маршрутів обробки деталі (МОД) та попередній вибір обладнання

Остаточне компонування МОД здійснюється на основі прийнятої спочатку принципової схеми маршруту та відібраних до виконання маршрутів обробки окремих поверхонь (МОП), які комплектують за принципом їх сумісності. Це завдання є тим складнішим, чим більше існує у деталі поверхонь, що точно обробляються. При цьому завжди існує декілька прийнятних варіантів технологічного процесу. При доборі оптимального варіанта керуються наступними рекомендаціями [3, 24]:

1. Згідно з принципами технологічної та часової сумісності виявляють технологічні комплекси поверхонь, що характеризуються абсолютно, відносно чи умовно однорідними комплектами параметрів, тобто тих поверхонь, які можна обробляти з використанням принципів сталості баз та єдності методів обробки.

2. Першим для обробки вибирають базовий комплекс, в який включають поверхні, що на наступних операціях будуть використані як технологічні бази.

3. Порядок обробки інших комплексів визначають відповідно до етапу обробки, на якому знаходиться виконавча поверхня деталі або представник поверхні. При цьому в межах кожного етапу черговість обробки така: основні поверхні, потім першого, другого і вищих рангів.

4. Операції, де є ймовірність браку через дефекти матеріалу або складності механічної обробки, повинні виконуватись на початку процесу, що дозволяє звільнитись від подальшої безцільної обробки явно некондеційних заготовок.

5. На початку процесу необхідно обробляти поверхні, з яких знімається найтовстіший шар металу, оскільки при цьому, по-перше, легше виявити внутрішні дефекти заготовки, а по-друге, найбільше відбувається перерозподіл внутрішніх напружень заготовки. При цьому вона коробиться інтенсивніше і, отже, на наступних стадіях обробки стабільніше й легше забезпечується потрібна точність обробки.

6. Необхідно розділяти чорнову і чистову обробки, що дає можливість підвищити точність обробки і раціональніше використовувати верстати та кваліфікацію виконавців: на чорновій обробці – потужні та менш точні верстати при невисокій кваліфікації працівників, а на чистовій – менш потужні, але більш точні верстати при вищій кваліфікації працівників. Однак при обробці металомістких заготовок при значних затратах допоміжного часу на встановлення оброблюваної заготовки, коли заготовка важка, громіздка, має високу жорсткість, а припуски на обробку невеликі, розділяти чорнову і чистову обробки необов'язково.

7. На початку процесу потрібно виконувати обробку тих поверхонь, при знятті металу з яких найменше зменшується жорсткість заготовки. Наприклад, при чорновій обробці ступінчастого вала доцільно в першу чергу обробляти ступіні більшого діаметра, канавки обробляти якомога пізніше і т.ін.

8. Після чорнової обробки послідовність обробки поверхонь встановлюється обернено ступеню їх точності та шорсткості. Чим точнішою та менш шорсткою повинна бути поверхня, тим пізніше вона обробляється, оскільки зняття кожного шару з поверхні заготовки викликає перерозподіл внутрішніх напружень та деформацію заготовки. Тому поверхні найбільш точні та найменш жорсткі повинні оброблятись останніми, чим виключається або зменшується можливість зміни розмірів і ушкодження остаточно оброблених поверхонь.

9. Для великих, важких заготовок послідовність обробки може обумовлюватись забезпеченням можливо меншого числа перевстановлень.

10. Послідовність виконання операцій механічної обробки деталей встановлюється також із врахуванням термічної обробки. Місце термообробки в технологічному процесі залежить від її призначення. Так, старіння для повного або часткового зняття внутрішніх напружень у матеріалі заготовки передбачають перед механічною обробкою або після чорнової обробки. Загальне загартування деталі супроводжується значними деформаціями, у зв'язку з чим передбачається перед кінцевою обробкою (як правило, шліфуванням). Ціанування та азотування для збереження міцного шару планують після кінцевої обробки або перед фінішною обробкою.

11. Операції допоміжного або другорядного характеру (свердління дрібних отворів, зняття фасок, прорізання канавок, зняття задирок тощо) звичайно виконується на стадії чистової обробки. Послідовність виконання цих операцій може змінюватись, оскільки вона не впливає на якісні показники та економіку процесу в цілому.

12. Контрольні операції звичайно призначають після тих етапів обробки, де ймовірно підвищена кількість браку перед складними та відповідальними операціями і після них, перед операціями, які виконуються в інших цехах, перед термічною обробкою та після неї, а також у кінці обробки.

13. Вибір обладнання для кожного комплексу поверхонь та уточнення схем базування на всіх етапах обробки.

Таким чином, будь-який процес механічної обробки повинен вкладатись в таку схему послідовності обробки:

1. Обробка поверхонь-баз для наступних операцій.
2. Чорнова та чистова обробка основних поверхонь деталей.
3. Чорнова та чистова обробка другорядних поверхонь.
4. Термічна обробка заготовки, якщо вона передбачена кресленням і технічними умовами.
5. Виконання фінішних операцій, пов'язаних з термічною обробкою.
6. Виконання оздоблювальних операцій основних поверхонь.

Приклад

Розробити варіанти МОД для деталі корпус (рис. 12.23).

Розв'язання

Згідно з кресленням деталі, принциповою схемою маршруту обробки (табл. 12.6) та наміченими маршрутами обробки поверхонь (МОП, табл. 12.8), об'єднуємо поверхні в комплекси.

Варіант 1. До першого комплексу повинні увійти поверхні, що представляють комплект технологічних баз. Раніше (п. 2.2.1) було визначено, що такими поверхнями є поверхня 1 (площина основи) і поверхні 4 (отвори ∅10Н7). Однак вони належать до поверхонь різних класів і характеризуються абсолютно неоднорідними комплектами параметрів. Тому розділимо ці поверхні на два комплекси. Перший комплекс подаємо єдиною поверхнею 1, другий – двома поверхнями 4, поверхнею 3 та 2. Ці поверхні характеризуються відносно однорідними комплектами параметрів, однак можуть бути оброблені з одного встановлення із застосуванням комбінованого інструменту. Третій комплекс подаємо поверхнями 5, 7, 8, 6, 9. Ці поверхні також мають відносно однорідні комплекти параметрів, але також можуть бути оброблені з одного встановлення. До четвертого комплексу включаємо поверхні отворів під різь (поверхня 10 – першого рангу) та нарізні поверхні М5-7Н (поверхню 11 – 2-го рангу). На останньому чистовому етапі залишається (табл. 9.6) єдина поверхня отвору 5, яка складає п'ятий комплекс. З додаткових операцій призначимо миття та контроль.

Таким чином, після вибору обладнання вимальовується такий перший варіант МОД:

Операція 5. Чорнове та чистове фрезерування поверхні на вертикально-фрезерному верстаті.

Операція 10. Чорнова та чистова обробка отворів ∅10Н7, ∅17 та поверхні 2 на вертикально-свердлильному верстаті (свердління, зенкерування, цекування, розвертання).

Операція 15. Чорнове та напівчистове розточування отвору ∅50Н7 (із залишенням припуску для тонкого розточування), підрізання торців 7 та 8, точіння фасок 6 та 9 на двосторонньому розточувальному верстаті.

Операція 20. Свердління отворів (поверхні 10) та нарізання різі (поверхні 11) на вертикально-свердлильному верстаті.

Операція 25. Тонке розточування отвору ∅50Н7 на верстаті для тонкого розточування.

Операція 30. Миття.

Операція 35. Контроль.

Результати розробки МОД – 1-й варіант заносимо в табл. 12.9 для подальшого аналізу і оцінки.

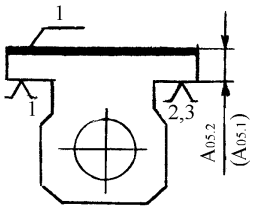
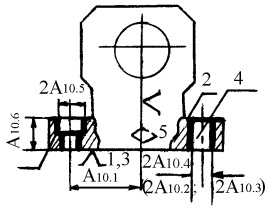
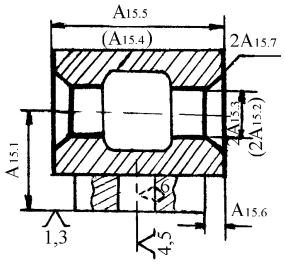
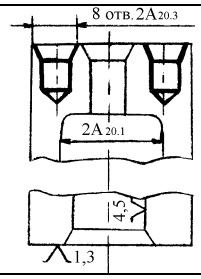
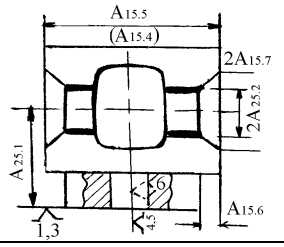
Примітки:

На ескізах табл. 12.9 і 12.10 повинно бути відображено:

- технологічні бази з використанням умовних позначень опорних точок або умовних позначень опор і затискачів (див. додатки 24 – 26);
- поверхні, які обробляються жирною лінією;
- шорсткість оброблюваних поверхонь згідно з державним стандартом;
- кінцеві технологічні розміри, що отримуються на даних операціях;
- технологічні розміри, що отримуються на переходах (проставляються під кінцевими).

Таблиця 12.9

Перший варіант МОД “Корпус підшипника” (рис.2.23)

Номер і назва операції	Ескіз операції	Тип обладнання	Мета операції
1	2	3	4
00	Виливок		Отримання заготовки
05 Фрезерна		Вертикально-фрезерний верстат	1. Підготовка чистової бази. 2. Забезпечення розмірів: $A_{05.2}$
10 Свердлильна		Вертикально-свердлильний верстат	1. Підготовка чистових баз. 2. Забезпечення розмірів: $A_{10.1}$, $2A_{10.4}$, $2A_{10.5}$, $A_{10.6}$
15 Розточувальна		Розточувальний двосторонній верстат	1.Забезпечення ⊥ 0,04 100 2. Забезпечення розмірів: $A_{15.1}$, $2A_{15.3}$, $A_{15.5}$, $2A_{15.6}$, $A_{15.7}$
20 Сверлильна		Вертикально-свердлильний верстат	Забезпечення розмірів: $2A_{20.1}$, $2A_{20.3}$
25 Розточувальна		Верстат для розточування	1. Забезпечення ∥ 0,03/130 2. Забезпечення розмірів: $2A_{25.2}$, $A_{25.1}$

Закінчення табл. 12.9

1	2	3	4
30 Миття		Мийна машина	Очищення деталі від бруду
35 Контроль		Контрольно-вимірювальні пристрої	Кінцева перевірка точності виготовлення деталі

Технологічні розміри позначаються умовно: Аіj – розміри відстані; 2Аіj – розмір діаметра, де і – номер операції; j – номер переходу даної операції.

Кутові розміри позначаються також умовно, але використовуються рядкові літери грецького алфавіту.

Варіант 2. Враховуючи, що обробка плоских поверхонь фрезеруванням є високопродуктивним процесом, у другому варіанті передбачимо обробку поверхонь 2, 7, 8, виконану на фрезерних верстатах. Комплекси поверхонь складаються наступним чином: перший – поверхня 1, другий – поверхні 4 і 3, третій – поверхні 7 і 8, четвертий – поверхні 5, 6, 9, поверхня 5 обробляється начорно і напівчисто із залишенням припуску на тонке розточування, п'ятий – поверхня 2, шостий – поверхні 10, 11, сьомий – поверхня 5 обробляється остаточно.

Таким чином, після вибору обладнання вимальовується такий другий варіант МОД:

Операція 5. Чорнове та чистове фрезерування поверхні на вертикально-фрезерному верстаті.

Операція 10. Чорнова та чистова обробка отворів ∅10Н7 і ∅17 на вертикально-свердлильному верстаті (свердління, зенкерування, розвертання).

Операція 15. Чорнове та чистове фрезерування поверхонь 7 і 8 на горизонтально-фрезерному верстаті.

Операція 20. Чорнове і напівчистове розточування отвору ∅50Н7 (із залишенням припуску для тонкого розточування), точіння фасок 6 і 9 на двосторонньому розточувальному верстаті.

Операція 25. Фрезерування поверхонь 2 на горизонтально-фрезерному верстаті.

Операція 30. Свердління отворів та нарізання різі М5-7Н на вертикально-свердлильному верстаті.

Операція 35. Тонке розточування отвору ∅50Н7 на верстаті для тонкого розточування.

Операція 40. Миття.

Операція 45. Контроль.

Результати розробки МОД-2-й варіант заносимо в табл. 12.10 для подальшого аналізу і оцінки.

Примітки:

1. Наведені два варіанти МОД "Корпус підшипника" є тільки одні з можливих. Використовуючи запропоновані раніше схеми базування МОП, можна розробити ще декілька варіантів, але обмежимося наведеними.

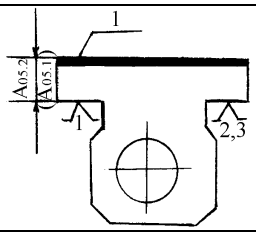
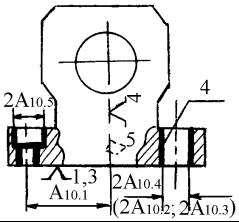
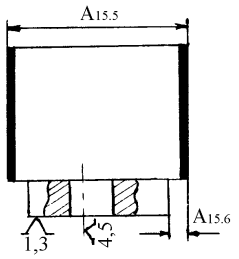
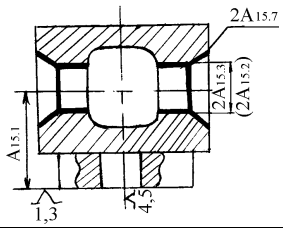
2 Обладнання вибиралося за такими ознаками:

- вид обробки;

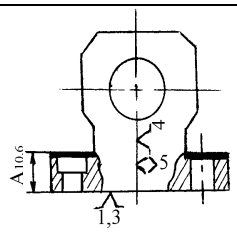
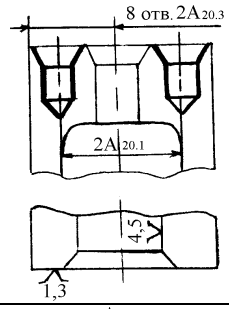
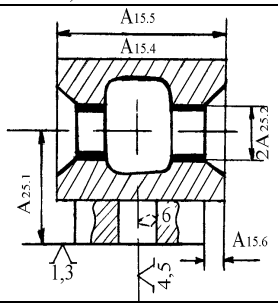
- габарити робочої зони верстата;
- точність верстата.

Таблиця 12.10

Другий варіант МОД “Корпус підшипника” (рис. 12.23)

Номер і назва операції	Ескіз операції	Тип обладнання	Мета операції
1	2	3	4
00	Виливок		Отримання заготовки
05 Фрезерна		Вертикально-фрезерний верстат	1. Підготовка чистової бази. 2. Забезпечення розмірів: $A_{05.2}$
10 Свердлильна		Вертикально-свердлильний верстат	1. Підготовка чистових баз. 2. Забезпечення розмірів: $A_{10.1}$, $2A_{10.4}$, $2A_{10.5}$
15 Горизонтально-фрезерна		Горизонтальний фрезерний верстат	1. Забезпечення ⊥ 0,04 100 2. Забезпечення розмірів:$A_{15.5}$, $A_{15.6}$
20 Розточувальна		Розточувальний двосторонній верстат	1. Забезпечення ∥ 0,03/130 2. Забезпечення розмірів: $2A_{15.3}$, $2A_{15.7}$, $A_{15.1}$

Закінчення табл. 12.10

1	2	3	4
25 Горизонтально-фрезерна		Горизонтально-фрезерний верстат	Забезпечення розміру:$A_{10.6}$
30 Свердлильна		Вертикально-свердлильний верстат	Забезпечення розмірів: $2A_{20.1}$, $2A_{20.3}$
35 Розточувальна		Верстат для тонкого розточування	1. Забезпечення ∥ 0,03/130 2. Забезпечення розмірів: $2A_{25.2}$, $A_{25.1}$
40 Миття		Мийна машина	Очищення деталі від бруду
45 Контроль		Контрольно-вимірювальні пристрої	Кінцева перевірка точності виготовлення деталі

12.3. Логічна оцінка варіантів МОД і вибір найбільш прийнятного

(Третій етап розробки технологічного процесу виготовлення деталі)

На цьому етапі розв'язуються такі задачі:

- визначення критеріїв оцінки варіантів МОД;
- розрахунок та логічна оцінка варіантів МОД за вибраними критеріями;
- аналіз, висновки та загальна оцінка варіантів МОД і вибір кращого;
- формування остаточної послідовності обробки деталі та побудова раціональної структури операції прийнятого варіанту МОД.

12.3.1. Загальні положення

Цей етап потребує значних знань і досвіду розробника технологічного процесу і тому його доцільно виконувати шляхом обговорення "захисту" перед керівником проекту. Цей етап найважче піддається формалізації, оскільки критерії оцінки дуже багатосторонні і часто не можуть бути представлені засобами формальної логіки.

Найбільш поширеними критеріями вибору варіанта технологічного процесу є [11, 37]:

1) оцінка доцільності прийнятого методу виготовлення заготовки;

2) забезпечення заданої точності по всіх лінійних і кутових розмірах, а також заданих параметрів шорсткості;

3) величини сумарних похибок обробки, від яких залежать припуски на обробку;

4) можливість використання стандартного різального, вимірювального інструменту і пристроїв;

5) можливість створення та придбання спеціальних верстатів, пристроїв, інструментів й іншого технологічного оснащення в заданий термін підготовки виробництва;

6) число, складність та орієнтовна вартість технологічного обладнання, пристроїв, різальних і вимірювальних інструментів тощо;

7) оцінка можливості автоматизації операцій та процесу в цілому;

8) організаційно-технологічні характеристики виробництва (потреба у виробничих площах, робітниках, складність та тривалість циклу технологічної підготовки виробництва, тривалість виробничого циклу тощо);

9) зручність розміщення обладнання на виробничих площах з оцінкою можливостей автоматизації транспортування деталей, видалення стружки, багатоверстатного обслуговування тощо;

10) комплексна оцінка всього маршруту технологічного процесу з аналізом доцільності вибраної послідовності механічних, термічних, гальванічних та інших операцій.

Після такої логічної оцінки з декількох попередньо запропонованих варіантів вибирають один з його коректуванням і доробкою. Фактично при цьому виникає необхідність повернення до другого етапу проектування, але вже на більш обгрунтованій логічній базі.

12.3.2. Перевірка забезпечення точності розмірів по варіантах технологічного процесу

Забезпечення точності розмірів є основним критерієм вибору варіанта технологічного маршруту. На точність обробки в першу чергу впливає вибрана схема базування, тому при її виборі треба дотримуватись правил 5 і 6 (п. 2.2.3). Якщо ж бази приймаються за правилом 7 (п. 2.2.3), то обов'язково потрібно розраховувати похибку, яка виникає від незбігання конструкторської та технологічної баз.

Похибка операційного розміру, крім базування, залежить від багатьох факторів: від пружних коливань технологічної системи, геометричних неточностей елементів системи, похибок встановлення, похибок вимірювання та ряду інших причин систематичного і випадкового характеру.

Сумарну похибку обробки можна визначити розрахунково-аналітичним методом [3], згідно з яким:

$$\Delta_{сум} = \sum \Delta_i,$$

де Δ_i – похибка, обумовлена і-м фактором.

Але розрахунково-аналітичний метод можна використати не завжди, оскільки це зв'язано з великими технічними і розрахунковими труднощами, недосконалістю методик визначення елементарних похибок. На практиці похибки обробки визначають за статистичними (табличними) даними, так званими таблицями економічної точності обробки. Але ці таблиці не враховують похибки базування заготовок, а також ряд інших, які можна назвати додатковими. Не враховується в цих таблицях також похибка вимірювання.

Очікувані похибки обробки визначаються на основі розмірних зв'язків всієї технологічної системи, які виникають в процесі виготовлення з включенням розмірних зв'язків верстата, деталі, інструменту та пристроїв. Для технологічних систем з ланками, які регулюються (підналагодження інструменту, регулювання вильоту інструменту), можна розглядати спрощені розмірні зв'язки (ланцюги). В цих ланцюгах взаємозв'язані розміри деталей верстата, пристрою та інструменту замінюються замикальною ланкою Ан.р. [26], яка є налагоджувальним розміром різального інструменту відносно установчих елементів пристрою, еталона або нерухомих частин верстата. При обробці різанням в розмірний ланцюг технологічної системи включається своїми розмірами оброблювана деталь. Під дією сил різання та інших факторів початковий розмірний ланцюг налагодження змінюється і в ньому утворюється нова ланка Ат.с. [26]. Величина і точність ланки Ат.с. залежить від технічного стану технологічної системи. У спрощені розмірні ланцюги включають додаткові ланки, які враховують похибки, що виникають при зміні взаємного положення різального леза інструмента та оброблюваної поверхні.

Зміна взаємного положення інструмента та оброблюваної поверхні виникає при повороті револьверної головки на торкано-револьверному верстаті, при повороті стола на нову позицію на токарних багатошпиндельних верстатах і т.д. Ланки Адод. враховують виникнення похибок індексації положення інструменту (пристроїв, шпинделів верстата тощо), і ці похибки позначаються $\Delta_{дод.}$ або $\Delta_{інд.}$

В загальному випадку спрощені розмірні ланцюги технологічної системи можна представити в такому вигляді [26]:

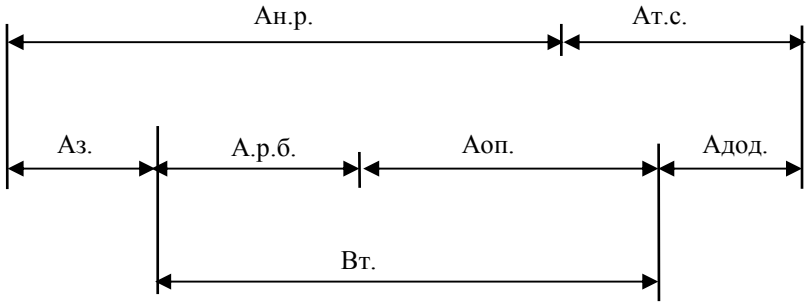


Схема спрощених операційних розмірних ланцюгів

Для випадку, коли конструкторські та технологічні бази збігаються (виконується принцип суміщення баз), розмірний ланцюг включає такі розміри: Ан.р., Ат.с., Аз, Вт

і Адод. Замикальною ланкою є технологічний /операційний розмір Вт.

Формула для розрахунку очікуваної похибки обробки має вгляд:

$$\Delta_{обр.} = \Delta_{к.р.} + \Delta_{т.с.} + \Delta_{з.} + \Delta_{дод.} . \quad (12.1)$$

Для випадку, коли конструкторська та технологічна бази не збігаються (правило 7, п. 2.2.1), розмірний ланцюг включає такі розміри: $А_{н.р.}$, $А_{т.с.}$, $А_{з}$, $А_{р.б.}$, $А_{о.п.}$, $А_{дод.}$. Ланка $А_{р.б.}$ – це розмір або декілька розмірів, що зв'язують розмірну (конструкторську) і технологічну бази деталі, що обробляються. Допуски на них приймаються з попередніх операцій, і вони визначають похибку $\varepsilon_{р.б}$ положення розмірної бази деталі при її базуванні. Замикальною ланкою в цьому розмірному ланцюгу є операційний розмір Ао.п.

Формула для розрахунку похибки, яка очікується, має вигляд:

$$\Delta_{обр.} = \Delta_{к.р.} + \Delta_{т.с.} + \Delta_{з.} + \varepsilon_{р.б.} + \Delta_{дод.}. \quad (12.2)$$

Похибки $\Delta_{к.р.} + \Delta_{т.с.} = \Delta_{с}$ у формулах (12.1) та (12.2) – це поле розсіювання розміру $А_{с} = А_{н.р.} + А_{т.с.}$ – величина цілком визначена для даних конкретних умов обробки. Вона залежить від точності та жорсткості елементів технологічної системи, їх стану, сил різання. Саме ця похибка показана в таблицях економічної точності обробки. Із врахуванням цього похибки обробки за формулами (12.1) і (12.2) будуть мати вигляд:

$$\Delta_{обр.} = \Delta_{с} + \Delta_{з.} + \Delta_{дод.}; \quad (12.3)$$

$$\Delta_{обр.} = \Delta_{с} + \Delta_{з.} + \varepsilon_{р.б.}\Delta_{дод.}. \quad (12.4)$$

Похибки індексації $\Delta_{інд}$ визначають за паспортними даними верстатів, кресленням пристроїв. При орієнтовних розрахунках рекомендується приймати $\Delta_{інд} = 0{,}03...0{,}05$ мм. Похибка закріплення $\Delta_{з}$ залежить від стану базуючих поверхонь оброблюваної деталі, величини, стабільності та напрямку сил затискання. Визначається експериментальним шляхом або знаходиться за довідниковими даними [3, табл. 12.12–12.15].

При виявленні розмірних ланцюгів технологічної системи при розрахунках похибки обробки потрібно враховувати ряд обставин [26].

1. Похибки налагодження та похибки, які вносяться технологічною системою ($\Delta_{к.р} + \Delta_{т.с.} = \Delta_{с}$) завжди мають місце не залежно від параметрів, які потрібно витримати. Інші похибки ($\Delta_{з}$, $\Delta_{р.б.}$, $\Delta_{дод.}$) можуть виникати, або не виникати при виконанні конкретної операції. У відповідності до цього і розмірні ланцюги у своєму складі будуть мати різні складові ланки. Правильно виявити розмірний ланцюг можна тільки на основі детального аналізу сутності кожної конкретної операції та всього технологічного процесу в цілому. Проведення такого аналізу допомогає також виявити шлях скорочення кількості ланок розмірного ланцюга і намітити заходи щодо підвищення точності параметрів, які потрібно витримати.

2. Окремі складові елементи ($\Delta_{з}$, $\Delta_{дод.}$) загальної похибки параметру, який потрібно витримати, можуть бути величиною другого порядку у порівнянні із середньостатистичною точністю обробки і складати приблизно $(0{,}1...0{,}2)\Delta_{с}$. В таких випадках при розрахунках можна ними знехтувати.

Похибки вимірювання можуть бути визначені з аналізу розмірних зв'язків системи: вимірювальний інструмент або прилад – деталь, яка вимірюється. При роботі на налагодженому верстаті не завжди потрібно враховувати похибку вимірювання. Точність налагодження верстатів перевіряється шляхом вимірювання, тим самим похибка вимірювання вже врахована у величині середньої статистичної точності обробки ($\Delta_{с}$). У цьому випадку її не потрібно враховувати. Це положення

справедливо у тих випадках, коли вимірювальна база є чисто обробленою поверхнею, похибка форми якої незначна за величиною.

Часто вимірювальною базою деталі є чорнова поверхня вихідної заготовки або гірше оброблена порівняно з поверхнею, яка утворюється на даній операції. Коли вимірювальна база деталі має значну похибку форми ($\Delta_ф$), яка дуже впливає на коливання розміру, що вимірюється, то вона повинна бути врахована в допуску на розмір. Похибка вимірювання у таких випадках прирівнюється до похибки бази, що вимірюється, $\Delta_{вим} = \Delta ф$. Для попередніх розрахунків можна приймати:

$$\Delta_{вим} = \Delta_ф = 0{,}25T_{Ai\text{-}1}, \qquad (12.5)$$

де $T_{Ai\text{-}1}$ – допуск на відповідний розмір заготовки.

Після ретельного аналізу суті операції nf визначення похибок обробки $\Delta_{обр.}$ і похибок вимірювання $\omega_{вим.}$ за формулою (9.5) визначається сумарна очікувана похибка $\Delta_{сум.}$. Допуск на операційний розмір (допуск на параметр за кресленням) має бути в межах сумарної очікуваної похибки або більшою від неї:

$$T_{Ai} \geq \Delta_{сум}A_i. \qquad (12.6)$$

Розрахунки по визначенню похибки обробки необхідно проводити у визначеній послідовності.

У довільному масштабі викреслюється ескіз обробки (для кожної операції, з вимогами, які вказані у примітці до ескізів табл. 12.9, 12.10).

Будуються спрощені схеми операційних розмірних ланцюгів.

У випадку обробки поверхонь обертання деякі (або всі) ланки зручно проставляти між осями (або осями і поверхнями).

Наведена методика для розрахунку похибок операційних розмірів може бути використана і для розрахунків похибок відносного кутового розміщення поверхонь (у тому числі паралельності та перпендикулярності) $\Delta_{обр.}$.

12.3.3. Аналіз інших критеріїв вибору варіанта технологічного процесу

Оцінка доцільності прийнятого методу виготовлення заготовки виконана в п. 2.1.8 при виборі методу.

Крім виробничих похибок розмірів, які формуються на заключних переходах механічної обробки і характеризують точність технологічного процесу, визначають також значення сумарних похибок обробки $\Delta\sum$ по кожному розміру, що аналізується, який представляє собою суму виробничих похибок для цього розміру по всіх переходах обробки. Сумарні похибки використовують для оцінки правильності призначення та розрахунку припусків на механічну обробку заготовки: мінімальна величина припуску повинна перекривати сумарну похибку.

Забезпечення параметрів шорсткості досягається вибором типових планів обробки поверхонь, що рекомендують довідники та технічна література (див. табл. 12.8).

Інші критерії аналізуються та оцінюються логічно і не потребують особливих пояснень.

12.3.4. Приклад оцінки варіантів МОД корпусу, що представлені в табл. 12.9 і 12.10 (рис. 12.23)

1. Оцінка доцільності прийнятого методу виготовлення заготовки проведена в п. 2.1.8. Ця заготовка прийнята як для першого, так і для другого варіантів.

2. Задані параметри шорсткості забезпечені відповідним вибором методів обробки поверхонь, тобто тут використаний виробничий досвід.

3. Забезпечення заданої точності розмірів і поворотів.

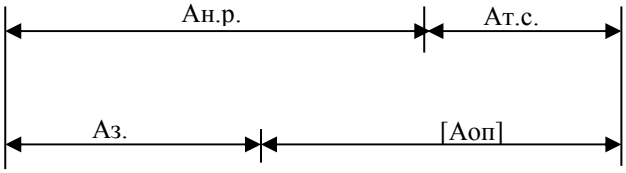
Варіант 1. Операція 05. Фрезерна.

Тут змінюється один розмір A_{05}, на чорновій операції він приймає значення $A_{05\text{-}1}$, на чистовій – $A_{05\text{-}2}$.

На цій операції виконується принцип суміщення баз і відсутні додаткові похибки, тому для розрахунку $\Delta_{обр.}{}^{05}$ використовуємо формулу (12.3), тобто:

$$\Delta_{обр} = \Delta_c + \Delta_з.$$

Розмірний ланцюг буде мати вигляд:



У зв'язку з тим, що технологічною (установчою) базою є необроблена поверхня заготовки, в сумарній похибці враховуємо також похибку вимірювання, яку розраховуємо за формулою (12.5). Таким чином, для першого переходу операції 05 маємо:

$$\Delta^1_{сум} = \Delta^1_{обр.} + \Delta_{вим.};$$

для другого переходу:

$$\Delta^2_{сум} = \Delta^2_{обр.} + \Delta_{вим.}$$

Сумарна похибка на операцію буде рівною:

$$\Delta^{05}_{сум} = \Delta^1_{сум.} + \Delta^2_{сум}$$

$\Delta^1_c = 200$ мкм [26, табл. 6.4];

$\Delta^2_c = 120$ мкм [26, табл. 6.4];

$\Delta_з = 140$ мкм [3, табл. 12.4];

$T_{Ai\text{-}1} = 1800$ мкм [25, таблиця 6.22];

$\Delta_{вим.} = \Delta ф = 0{,}25 \cdot T_{Ai\text{-}1} = 0{,}25 \cdot 1800 = 450$ мкм $= 0{,}45$ мм;

$\Delta^1_{обр} = \Delta^1_c + \Delta_з = 200 + 140 = 340$ мкм $= 0{,}34$ мм;

$\Delta^2_{обр} = \Delta^2_c = 120$ мкм $= 0{,}12$ мм;

$\Delta^1_{сум} = 0{,}34$ мм $+ 0{,}45$ мм $= 0{,}79$ мм;

$\Delta^{05}_{сум} = 0{,}12$ мм $+ 0{,}45$ мм $= 0{,}57$ мм;

$\Delta^{05}_{сум} = 0{,}79 + 0{,}57 = 1{,}36$ мм.

Операція 10. Свердлильна.

На цій операції:

1) розміри $2A_{10.2}$, $2A_{10.3}$, $2A_{10.4}$, $2A_{10.5}$ забезпечуються розмірами різального інструменту;

2) розмір $A_{10.6}$ – виконується за принципом суміщення баз, немає додаткових похибок, вимірюється від обробленої поверхні. Тому:

$$\Delta_{сум} = \Delta_{обр.} = \Delta_c + \Delta_з;$$

$\Delta_c = 70$ [3, табл. 12.7];

$\Delta_з = 110$ [3, табл. 12.14];

$$\Delta_{\text{сум}}^{\text{A}_{10.6}} = 70 + 110 = 180 \text{ мкм} = 0{,}18 \text{ мм};$$

3) розмір $A_{10.1}$ виконується від напрямної бази, немає додаткових похибок, вимірюється від чисто оброблених поверхонь. Тому:

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_{\text{обр}} = \Delta_{\text{с.}} + \Delta_{\text{З}}.$$

$\Delta_{\text{с.}} = 200$ мкм [3, табл. 12.26].

$\Delta_{\text{З}} = 0$, оскільки сила закріплення направлена перпендикулярно до отримуваного розміру.

$$\Delta_{\text{сум}}^{\text{A}_{10.1}} = 200 \text{ мкм} = 0{,}2 \text{ мм}.$$

Операція 15. Розточувальна.

На цій операції забезпечуються розміри:

1) $A_{15.1}$ – виконується за принципом суміщення баз, без додаткових похибок, вимірювання від чисто обробленої поверхні:

$$\Delta_{\text{сум}}^{\text{A}_{15.1}} = \Delta_{\text{обр.}} = \Delta_{\text{с.}} + \Delta_{\text{З}}.$$

$\Delta_{\text{с.}} = 84$ мкм [3, табл. 12.2].

$\Delta_{\text{З}} = 0$, оскільки застосовується механізований затискач, який забезпечує стабільність сили затискання.

$$\Delta_{\text{сум}}^{\text{A}_{15.1}} = 84 + 0 = 84 \text{ мкм} \approx 0{,}09 \text{ мм}.$$

2) розміри $2A_{15.2}$, $2A_{15.3}$ залежать тільки від похибки методу обробки, тобто:

$$\Delta_{\text{сум}}^{2\text{A}_{15.2}} = \Delta_{\text{обр.}}^{2\text{A}_{15.2}} = \Delta_{\text{с.}}^{2\text{A}_{15.2}};$$

$$\Delta_{\text{сум}}^{2\text{A}_{15.3}} = \Delta_{\text{обр.}}^{2\text{A}_{15.3}} = \Delta_{\text{с.}}^{2\text{A}_{15.3}}.$$

$$\Delta_{\text{сум}}^{2\text{A}_{15.3}} = 340 \text{ мкм [3, табл. 12.2] (розточування чорнове);}$$

$$\Delta_{\text{сум}}^{2\text{A}_{15.3}} = 100 \text{ мкм [3, табл. 12.2] (розточування чистове);}$$

$$\Delta_{\text{сум}}^{2\text{A}_{15.2}} = 340 \text{ мкм} = 0{,}34 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{сум}}^{2\text{A}_{15.3}} = 100 \text{ мкм} = 0{,}10 \text{ мм};$$

3) розміри $A_{15.4}$, $A_{15.5}$ і $A_{15.6}$.

Спочатку від чорнової бази витримується розмір $A_{15.6}$, тобто в даному випадку технологічна база не збігається з вимірювальною (конструкторською) і можна використати рівняння (12.4):

$$\Delta_{\text{обр.}} = \Delta_{\text{с}} + \Delta_{\text{З}} + \varepsilon_{\text{р.б.}} + \Delta_{\text{дод.}}.$$

$\Delta_{\text{с}} = 300$ мкм [3, табл. 12.7];

$\Delta_{\text{З}} = 0$;

$\Delta_{\text{р.б.}} = 300$ мкм [3, табл. 12.7];

$\Delta_{\text{дод.}} = 0$;

$$\Delta_{\text{обр}}^{\text{A}_{15.6}} = 300 + 300 = 600 \text{ мкм} = 0{,}6 \text{ мм}.$$

Похибка вимірювання дорівнює:

$$\Delta_{\text{вим}} = 0{,}25\, T_{\text{Ai-1}} = 0{,}25 \cdot 300 = 75 \text{ мкм} = 0{,}075 \text{ мм}.$$

$$\Delta_{\text{сум}}{}^{A_{15.6}} = 0{,}6 \text{ мм} + 0{,}075 \text{ мм} = 0{,}675 \text{ мм} \approx 0{,}7 \text{ мм}.$$

Розмір $A_{15.5}$ витримується від чистового торця, тобто за принципом суміщення баз, але тут задається похибка позиціонування (для обробки другого торця треба змінити позицію, тобто повернути заготовку на 180°).

$$\Delta_{\text{сум}}{}^{A_{15.5}} = \Delta_{\text{с}} + \Delta_{\text{дод.}}.$$

$\Delta_{\text{с}} = 120$ мкм [3, табл. 12.3];

$\Delta_{\text{дод.}} = 30$ мкм (паспорт верстата);

$$\Delta_{\text{сум}}{}^{A_{15.5}} = 120 + 30 = 150 \text{ мм} = 0{,}15 \text{ мм}.$$

4) розмір $2A_{15.7.}$

$\Delta_{\text{обр.}} = \Delta_{\text{с.}} = 120$ мкм [3, табл. 12.3].

5) на цій операції треба забезпечити параметр $\perp \mid 0{,}04 \mid 100$, який забезпечується вибором схеми базування і відповідного методу обробки.

За прийнятою схемою базування та обробкою поверхонь 7 і 8 одноразовим точінням забезпечується точність взаємного положення поверхонь (базової та оброблюваної) з точністю 4–8 мкм на 160–300 мм [26, табл. 7.4], що для нашого випадку цілком прийнятно.

Операція 20 свердлильна.

1) розмір $2A_{20.1}$ забезпечується кондуктором

$$\Delta_{\text{обр.}} = \Delta_{\text{с.}} = 0{,}10 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\text{сум}}{}^{2A_{20.1}} = 0{,}1 \text{ мм};$$

2) розмір $2A_{20.3}$ забезпечується різальним інструментом.

Операція 25 розточувальна.

1) розмір $A_{25.1}$ виконується від технологічної бази:

$$\Delta_{\text{сум.}}{}^{A_{25.1}} = \Delta_{\text{сум.}}{}^{A_{15.1}} = 0{,}09 \text{ мм};$$

2) розмір $2A_{25.2}$ забезпечується регулюванням положення різця:

$$\Delta_{\text{сум.}}{}^{2A_{25.2}} = \Delta_{\text{с}} = 30 \text{ мкм} \approx 0{,}03 \text{ мм};$$

3) параметр $// \mid 0{,}03/130$ забезпечується вибором схеми базування і методу обробки (див. операцію 15) [26, таблиця 7.4].

Варіант 2. Цей варіант відрізняється тим, що товщина полички (розмір $A_{10.6}$) і поверхні 7 та 8 (розмір $A_{15.5}$) виконуються на горизонтально-фрезерному верстаті, причому поверхні 7 і 8 обробляються набором фрез, тобто розмір $A_{15.5}$ буде стабільним на всій партії деталей. Якщо порівняти точність розташування поверхонь, то цей варіант дає змогу при обробці поверхонь 7 і 8 налагодити верстат від напрямної бази, тобто від отвору ∅10Н7, в результаті чого точність розташування цих поверхонь підвищиться.

Точність виконання розміру $A_{10.6}$ також підвищиться, оскільки він також буде забезпечуватись набором фрез.

Отримувані результати по точності обробки обох варіантів заносяться в табл. 12.1.

Таблиця 12.11

Точність обробки по варіантах технологічного процесу

Позначення розмірів	Параметри точності деталі		Похибки по варіантах		
	номінальна величина розміру	допуск	виробничі		сумарні
$A_{05.1}$	15	1,10	0,79	0,79	
$A_{05.2}$	15	0,70	0,57	0,57	
$A_{10.6}$	15	0,43	0,18	0,12	1,54 1,48 поверхні 1 і 2
$A_{15.1}$	40	±0,05	0,09	0,09	
$A_{15.6}$	5	0,75	0,70	0,70	0,70 0,70
$A_{15.5}$	90	0,5	0,15	0,10	0,85 0,80 поверхні 7 і 8
$2A_{20.1}$	60	±0,1	0,10	0,10	
$A_{25.1}$	40	±0,05	0,09	0,09	
$2A_{25.2}$	50	0,03	0,03	0,03	$A_{15.3} + A_{25.5}$

Якщо порівняти інші критерії вибору варіанта МОД, то можна зробити наступні висновки.

1. Обидва варіанти забезпечують потрібну точність розмірів і параметри шорсткості поверхонь, заданих кресленням. Другий варіант навіть забезпечує вищу точність розташування поверхонь 7 і 8.
2. Сумарні похибки обробки відрізняються на незначну величину, тобто припуски на обробку в обох варіантах будуть приблизно однакові.
3. Перший варіант передбачає застосування спеціального інструмента – зенкера для цекування.
4. Перший варіант має меншу кількість операцій і вимагає меншої номенклатури обладнання.
5. Другий варіант має більшу кількість операцій і вимагає додатково застосування горизонтально-фрезерного верстата, але можна обійтись без спеціального інструменту.

Зваживши все, приходимо до висновку, що перший варіант МОД є більш прийнятним, тому приймаємо його для подальшої розробки.

12.3.5. Формування раціональної структури операції

Вибір раціональної послідовності встановлень та переходів операції є багатоваріантною задачею, яка розв’язується послідовно на всіх етапах проектування.

Існує декілька методів вибору структури операцій [8]. Всі вони базуються на розмірно-точнісному аналізі деталі та типових розв’язках, у яких узагальнено досвід, накопичений при обробці деталей кожного класу.

Критеріями оцінки варіантів операцій, що проектуються, можуть бути: оперативний час, штучний час, вартість виконання операції. Всі ці критерії

зменшуються за умови скорочення числа переходів та їх одночасного виконання. Число переходів насамперед залежить від числа ступенів обробки кожної елементарної поверхні деталі. Чим менше ступенів обробки необхідно для кожної поверхні і чим вищою є їх технологічна та часова сумісність, тим більше можливостей скорочення часу виконання операції, тим нижча собівартість.

В умовах великосерійного і масового виробництва, де технологічні можливості обладнання досить широкі, виникає питання про таку побудову операцій, яка максимально скорочує штучний час, а в потоковому виробництві – тривалість операцій, що дорівнює або є кратною такту випуску. Для цього часто суміщають елементи основного та допоміжного часу. В даному випадку до складу штучного часу входять лише найбільш тривалі елементи часу з числа всіх, що суміщаються. Можливість такого суміщення залежить від кількості інструменту, який використовують, порядку обробки поверхонь та технологічної сумісності переходів.

За кількістю заготовок, які встановлюють, розрізняють одно- і багатомісні схеми, а за кількістю використаних інструментів – одно- та багатоінструментальні. Поєднання таких ознак дає ряд схем від найменш продуктивних одномісних одноінструментних послідовних до найбільш продуктивних багатомісних багатоінструментних паралельних. Приклади таких варіантів схем обробки наведені в [24].

Вибираючи схеми обробки потрібно пам’ятати, що зі збільшенням числа інструменту в налагодженні продуктивність росте до певної межі, вище якої подальше збільшення його кількості може знизити продуктивність у зв’язку зі збільшенням затрат на зміну і регулювання інструменту. При великій кількості інструменту доводиться також знижувати швидкість різання, зменшувати подачу. Крім того, більш складні налагодження здійснюють на дорожчому технологічному обладнанні, використовуючи більш складне технологічне оснащення.

Можливість суміщення технологічних переходів встановлюють в залежності від жорсткості заготовки, взаємного розташування поверхонь, які обробляються, зручності видалення стружки, технологічної можливості розміщення інструменту в зоні обробки. Обробку поверхонь з високими квалітетами точності виділяють в окрему операцію, застосовуючи одномісні одноінструментні послідовні, а часто й одноперехідні схеми. Процес формування структури операцій може бути формалізований [8].

Структуру операцій вибирають паралельно з обладнанням, оскільки, беручи до виконання схему обробки, необхідно чітко знати можливість її реалізації на верстаті. В тому випадку, коли найбільш оптимальна схема не може бути реалізована на жодній з існуючих моделей верстатів, технолог зобов’язаний розробити технічне завдання на проектування спеціального верстата. Таке рішення потрібно обгрунтувати економічним розрахунком. Якщо ж проектування спеціального верстата економічно недоцільне, намічену структуру операції необхідно спростити.

В технологічний процес необхідно також включати допоміжні операції.

До допоміжних операцій відносяться додаткові операції технологічного процесу, які забезпечують необхідну якість готової деталі по її зовнішньому вигляду, естетичних вимогах, зберіганню тощо. Це такі операції, як миття, очищення, фарбування, та ряд інших. Всі допоміжні операції встановлюються в структурі техпроцесу у відповідності до характеру і змісту операцій механообробки.

Приклад формування раціональної структури операцій при обробці корпусу (рис. 12.23).

За прийнятим варіантом МОД можна було б розглянути суміщення таких переходів: на операції 10 – одночасну обробку двох отворів $2A_{10.4}$ за рахунок застосування універсальної багатошпиндельної свердлильної головки; на операції 15 можна застосувати багатоінструментальне налагодження для розточування отворів, зняття фаски і підрізання торців за рахунок застосування спеціального інструменту; на операції 20 – одночасне свердління отворів під різь М5 за рахунок застосування багатошпиндельної свердлильної головки.

Але всі ці пропозиції потрібно обгрунтувати економічно і перевірити, як буде забезпечуватись точність розмірів.

Дані по формуванню структури операцій заносять в таблицю. Для наведеного вище прикладу обробки корпуса підшипника, послідовність обробки і структура операцій може бути наступною (табл. 12.12).

Таблиця 12.12

Послідовність і структура операцій обробки корпусу (рис. 12.23)

Номер і назва операції	Номер переходу	Зміст переходу
05 Фрезерна	1	Фрезерувати поверхню 1 в розмір $A_{05.1}$
	2	Фрезерувати поверхню 1 в розмір $A_{05.2}$
10 Свердлильна	1	Свердлити два отвори в розмір $2A_{10.2}$, витримуючи розмір $A_{10.1}$
	2	Зенкерувати два отвори в розмір $2A_{10.3}$, витримуючи розмір $A_{10.6}$
	3	Зенкерувати один отвір в розмір $2A_{10.5}$
	4	Розвернути два отвори в розмір $2A_{10.4}$
15 Розточувальна	1	Розточити отвір начорно, витримуючи розміри $2A_{15.2}$ і $A_{15.1}$
	2	Розточити отвір начисто, витримуючи розміри $2A_{15.3}$ і $A_{15.1}$
	3	Підрізати з одного боку торцеву поверхню, витримуючи розміри $A_{15.6}$ і $A_{15.4}$ і ⊥ 0,04 100
	4	Точити фаску $2A_{15.7}$ з одного боку
	5	Змінити позицію
	6	Підрізати другу торцеву поверхню, витримуючи розміри $A_{15.5}$ і ⊥ 0,04 100
	7	Точити фаску $2A_{15.7}$ з другого боку
20 Свердлильна	1	Свердлити по кондуктору чотири отвори під різь, витримуючи розміри ~~$2A_{20.1}$~~ і $2A_{20.2}$
	2	Нарізати різь у чотирьох отворах, витримуючи розмір $2A_{20.3}$
25 Розточувальна	1	Розточити отвір, витримуючи розміри $A_{25.1}$, $2A_{25.2}$ і // 0,03/130
30 Миття	1	Очищення деталі від бруду
35 Контроль		Кінцева перевірка точності виготовлення

12.4. Розмірний аналіз технологічного процесу (четвертий етап розробки технологічного процесу виготовлення деталі)

На цьому етапі розв'язуються такі задачі:

- визначення допусків на розміри в технологічних операціях;
- розробка розмірних схем та граф-дерев технологічного процесу;
- виявлення та розв'язання технологічних розмірних ланцюгів та визначення граничних значень розмірів та припусків;
- визначення розмірів та розробка креслення заготовки.

12.4.1. Загальні положення

При розробці технологічних процесів механічної обробки на налагоджених верстатах на кожну операцію, як правило, розробляють операційний ескіз. На ньому технолог вказує умовними познаками бази, а також оброблювані на даній операції поверхні з витримуваними розмірами і допусками на них. Ці розміри, які можуть бути проміжними або кінцевими, встановлюються технологом і називаються технологічними на відміну від конструкторських, що встановлюються конструктором при конструюванні деталі.

Кінцеві технологічні розміри можуть збігатися або не збігатися з конструкторськими, оскільки конструктор при простановленні розмірів на кресленні деталі не завжди має змогу врахувати технологію її виготовлення. Технологу часто доводиться замість конструкторських розмірів встановлювати технологічні та визначати допуски на них.

Ця робота виконується на основі визначення і розрахунку технологічних розмірних ланцюгів, що виражають зв'язок розмірів оброблюваної деталі в міру виконання технологічного процесу. При незбіганні технологічних і конструкторських баз технолог змушений виконувати перерахунок розмірів та допусків від прийнятих технологічних баз.

На основі технологічних розмірних ланцюгів визначаються також проміжні припуски на обробку поверхні.

Весь наведений комплекс робіт дістав назву "розмірний аналіз технологічного процесу".

Розмірним аналізом називають сукупність розрахунково-аналітичних процедур, що виконуються при розробці та аналізі технологічного процесу. Він включає такі технологічні розрахунки:

- знаходження граничних значень величин припусків при заданих операційних і кінцевих розмірах деталі за операціями та переходами;
- визначення граничних значень якого-небудь розміру, що не заданий безпосередньо на кресленні, а одержується в результаті обробки заготовки за іншими розмірами;
- розрахунки розмірів і допусків технологічних розмірів, які виконуються замість заданих у конструкторському кресленні при зміні та незбіганні баз;
- розрахунок граничних значень операційних розмірів, що забезпечують одержання кінцевих розмірів і оптимальних значень припусків.

Розмірний аналіз дає можливість одержати розміри та їх граничні відхилення, необхідні для заповнення технологічної документації (карти ескізів, технологічних карт), креслень вихідних заготовок, розроблення карт налагодження верстата, керуючих програм, одержання технологічної з позиції механічної обробки розстановки розмірів тощо. За способом виконання розрізняють розмірний аналіз розроблюваного (проектованого) і аналіз діючого технологічних процесів.

В серійному виробництві часто замість повного розмірного аналізу (РАН) [11] виконують, так званий елементарний розмірний аналіз, який скорочено називається ЕРАН [22]. Цей аналіз не потребує побудови і розв'язання розмірних ланцюгів, менш трудомісткий, але й менш точний. При впровадженні технологічного процесу у виробництво часто доводиться коректувати допуски на міжопераційні розміри, тому процес впровадження технологічного процесу більш тривалий і не гарантується робота без браку на перших етапах виготовлення деталей.

Основна відмінність цих методів полягає у тому, що РАН передбачає отримання допусків на міжопераційні розміри розрахунковим шляхом, а при використанні ЕРАН допуски на ці розміри визначаються спрощеним розрахунком або призначаються табличним методом.

ЕРАН виконується в такій послідовності:

- пропонується варіант (або декілька варіантів) технологічного процесу механічної обробки – маршрутна технологія;
- на кожну поверхню в спеціальній розрахунковій карті записуються операції по переходах, по яких у подальшому виконуються розрахунки припусків, допусків і операційних розмірів;
- визначаються припуски табличним чи розрахунково-аналітичним методом для кожного переходу;
- за спеціальними правилами спрощеним розрахунком чи табличним методом призначаються допуски на розміри в технологічних операціях;
- визначають граничні розміри і граничні припуски.
- *РАН виконується у наступній послідовності:*
- пропонується варіант (або декілька варіантів) технологічного процесу механічної обробки – маршрутна технологія;
- розробляються (використовуються з попередніх етапів) операційні ескізи на кожну операцію;
- розрахунково-аналітичним методом розраховуються мінімальні припуски по переходах;
- розробляються розмірні схеми технологічних процесів і граф-дерево механічної обробки (за необхідності);
- перевіряється правильність побудови розмірної схеми і граф-дерева механічної обробки;
- виявляються технологічні розмірні ланцюги безпосередньо з розмірної схеми чи за допомогою граф-дерева;
- розв'язуються розмірні ланцюги і визначаються граничні операційні допуски і припуски, а також розміри заготовки.

За результатами розмірного аналізу може бути встановлено, що варіант технологічного процесу, отриманий в результаті виконання попередніх етапів, може знову вимагати коректування з обов'язковою логічною оцінкою змін, що будуть вноситись.

Після повторного розмірного аналізу за уточненими вхідними даними, результати аналізу заносять в технологічну документацію, а також за необхідності і в конструкторську документацію за узгодженням з конструктором.

За результатами розрахунків виконують креслення заготовки.

За необхідності виконують узгодження обробки з цехами-суміжниками.

12.4.2. Визначення припусків на обробку та розмірів заготовки

В машинобудуванні застосовують дослідно-статистичний та розрахунково-аналітичний методи встановлення припусків на обробку.

Згідно з дослідно-статистичним методом загальні та проміжні припуски визначають за таблицями, в яких узагальнено і систематизовано виробничі дані передових машинобудівних заводів.

Недоліком цього методу є те, що припуски, як правило, призначають без врахування МОП і конкретних умов виконання технологічних операцій та переходів. Дослідно-статистичні припуски в багатьох випадках завищені, оскільки вони орієнтовані на такі умови обробки, коли для уникнення браку припуск повинен бути максимальним. Дослідно-статистичний метод простий, однак змушує технолога приймати рішення догматично, не аналізуючи умови виконання операції та не шукаючи шляхів економії металу. Сфера застосування цього методу – одиничне та дрібносерійне виробництво.

Використовуючи розрахунково-аналітичний метод, необхідно пам’ятати, що проміжний припуск Z_i на кожному технологічному переході повинен бути таким, щоб при його зніманні усувались похибки обробки та дефекти поверхневого шару, отримані на попередніх переходах (висота нерівностей – R_{Zi-1}, глибина дефектного шару – T_{i-1}, просторові відхилення – ρ_{i-1} в розташуванні поверхні, що обробляється, відносно базових поверхонь заготовки), а також похибки встановлення ε_{yi} заготовки, що виникають на переході, який виконується.

Цей метод, розроблений проф. В.Н. Кованом, базується на врахуванні конкретних умов виконання технологічного процесу обробки. Він виявляє можливості економії металу та зниження трудомісткості механічної обробки.

Метод застосовують у серійному та масовому виробництвах, коли обробка ведеться на налогоджених верстатах за методом автоматичного отримання розмірів.

Згідно з цим методом, мінімальні та максимальні значення припусків по кожному з технологічних переходів визначають за формулами [24]:

- при послідовній обробці протилежних поверхонь:

$$Z_i\,\min = R_{Zi-1} + h_{i-1} + \Delta_{\sum\ i-1} + \varepsilon_i\,;$$

$$Z_i\,\max = Z_i\,\min + T_{i-1} - T_i\,;$$

- при паралельній обробці протилежних поверхонь:

$$2Z_i\,\min = 2\left(R_{Zi-1} + h_{i-1} + \Delta_{\sum\ i-1} + \varepsilon_i\right);$$

$$2Z_i\,\max = 2Z_i\,\min + T_{i-1} - T_i\,;$$

- при обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання:

$$2Z_i\,\min = 2\left(R_{Zi-1} + h_{i-1}\right) + \sqrt{\Delta_{\sum\ i-1}^{\ 2} + \varepsilon_i^{\ 2}}$$

$$2Z_i\ \max = 2Z_i\ \min + T_{i-1} - T_i\ .$$

У цих формулах ρ та ε_{yi} є сумарними похибками різних просторових відхилень ρ_i, похибок базування $\varepsilon_{\delta i}$ та похибок закріплення ε_{zi} відповідно. Їхні числові значення визначають за формулами:

- для напрямку векторів похибок, що співпадає:

$$\overline{\Delta} = \overline{\Delta_1} + \overline{\Delta_2}\ ;$$

$$\overline{\varepsilon_y} = \overline{\varepsilon_\delta} + \overline{\varepsilon_3}\ ;$$

- для протилежного напрямку векторів похибок:

$$\Delta = \left|\overline{\Delta_1} - \overline{\Delta_2}\right|;$$

$$\varepsilon_y = \left|\overline{\varepsilon_\delta} - \overline{\varepsilon_3}\right|;$$

- при невідомому напрямку векторів:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^{\,2} + \Delta_2^{\,2}}\ ;$$

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_\delta^{\,2} + \varepsilon_3^{\,2}}\ .$$

Вибираючи числові значення R_Z, h, Δ, ε_δ, ε_3 та T, необхідно користуватись довідником технолога-машинобудівника [30].

Загальні припуски на обробку поверхонь визначають за формулами:

- при послідовній обробці протилежних плоских поверхонь:

$$Z_o\ \min = \sum_1^n Z_i\ \min\ ;$$

$$Z_o\ \max = \sum_1^n Z_i\ \max\ ;$$

- при обробці зовнішніх та внутрішніх поверхонь обертання або паралельній обробці протилежних плоских поверхонь:

$$2Z_o\ \min = 2\sum_1^n Z_i\ \min\ ;$$

$$2Z_o\ \max = 2\sum_1^n Z_i\ \max\ ,$$

де n – число технологічних переходів, що виконуються над даною поверхнею.

Правильність розрахунків перевіряють за формулами:

$$Z_i\ \max - Z_i\ \min = T_{i-1} - T_i\ ;$$

$$2Z_i\ \max - 2Z_i\ \min = T_{Di-1} - T_{Di}\ ;$$

$$Z_o\ \max - Z_o\ \min = T_3 - T_q\ ;$$

$$2Z_o\ \max - 2Z_o\ \min = \delta_{D3} - \delta_{Dq}\ ,$$

де T_{i-1} і T_{Di-1} – допуск на обробку при виконанні і – 1-го переходу;

T_i і T_{Di} – допуск на обробку при виконанні і-го переходу;

T_3 і T_{D3} – допуск на заготовку;

T_q і T_{D3} – допуск на деталь.

При розрахунково-аналітичному методі користуються спеціальною розрахунковою картою (див. табл. 12.18). Розраховані таким чином припуски на

обробку зручно зображати графічно (див. рис. 12.39), тобто таким чином визначаються і розміри заготовки.

12.4.3. Визначення допусків на розміри в технологічних операціях при елементарному розмірному аналізі технологічного процесу (ЕРАН ТП)

Якщо кожен ступінь обробки виконується на окремій операції, то при проектуванні технологічного процесу розраховують її розмір, який називається операційним. Точність операційних розмірів регламентується допусками, які називаються операційними. Схему розташування операційних розмірів і допусків показано на рис. 12.31.

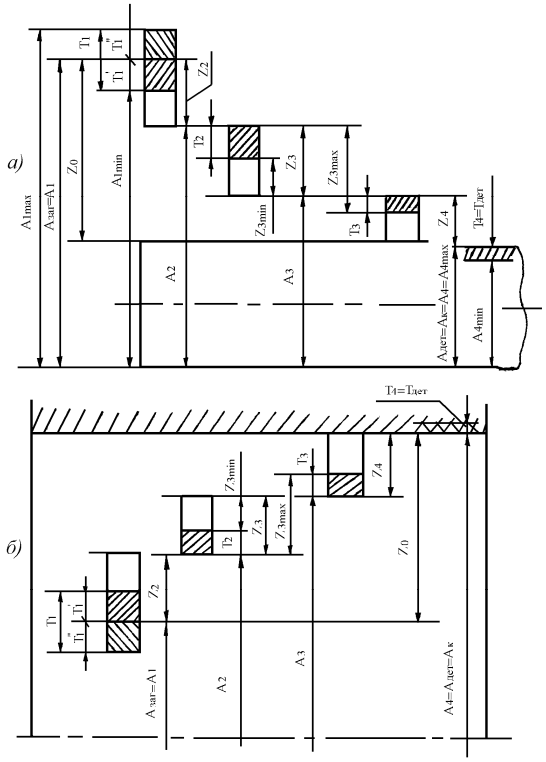


Рис.12.31. Система розташування полів операційних припусків і допусків на обробку вала (а) і отвору (б): A_1, A_2, A_3, A_4 – номінальні значення операційних розмірів відповідно заготовки, чорнового і чистового обточування та шліфування; T_1, T_2, T_3, T_4 – допуски на вказані розміри; Z_2, Z_3, Z_4 – номінальні значення припусків відповідно на чорнове і чистове обточування та шліфування; Z_0 – загальний припуск; max і min –максимальне і мінімальне значення (операцій, розмірів, припуску)

Правильно призначений допуск повинен відповідати умові (12.6), тобто

$$T_{Ai} \geq \Delta_{сум}A_i. \qquad (12.6)$$

Методику визначення $\Delta_{сум}A_i$ наведено в п. 2.3.2, тобто операційні допуски можна призначити, орієнтуючись на дані розрахунків, що занесені в табл. 12.11.

Але методика розрахунку точності розмірів (п. 2.3.2) застосовується, як правило, для визначення похибок обробки на остаточних переходах, її використання для проміжних розмірів трудомістко та й не завжди доцільно. Допуски на проміжні операційні розміри призначають за спрощеними правилами, які базуються на досвіді, набутому практикою машинобудування.

1. Величину операційного допуску необхідно приймати у відповідності з економічною точністю методу обробки, що використовується на даній операції чи переході. Для чорнової обробки звичайно рекомендується задавати допуск за 12-м чи 14-м квалітетами, для чистової обробки – за 11-м квалітетом точності (додаток 27).

2. В залежності від виду розміру (охоплюючий, охоплюваний тощо) задають граничні відхилення за посадками h, H чи Is. Схему розташування полів операційних допусків показано на рис. 12.31.

Наприклад, допуски на розміри A_1 і A_3 (рис. 12.32, *а*) потрібно задавати по h, допуски на розміри A_2, A_4 (рис. 12.32, *б*) – по H.

Ці правила є основними, загальними. У відповідності з ними розроблені таблиці для вибору операційних припусків (додатки 28, 29). Звичайно таблиці операційних допусків об'єднують з таблицями операційних припусків (додаток 30) і отримують таким чином єдину систему, що використовується при елементарному розмірному аналізі технологічних процесів (ЕРАН ТП).

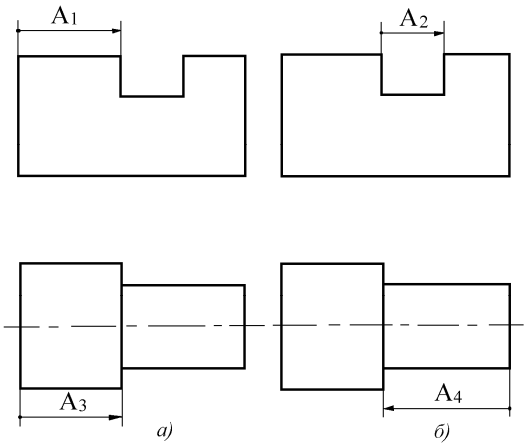


Рис. 12.32. Схема для визначення системи проставлення операційних допусків.

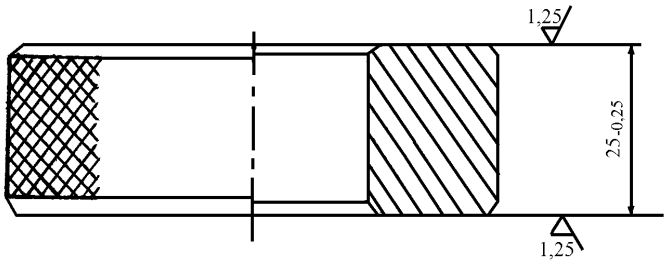


Рис. 12.33. Каліброве кільце

3. Допуски на розміри, що виконуються на операціях остаточної обробки, вибирають у відповідності з економічною точністю методу обробки і в тому випадку, якщо за кресленням потребується менша точність витримуваного розміру. Необхідність у такій рекомендації з'являється у тих випадках, коли метою остаточної обробки є не досягнення заданої за кресленням точності розміру, а виконання інших вимог креслення (наприклад, малої шорсткості поверхні тощо) На рис. 12.33 зображено ескіз калібрового кільця. Розмір висоти кільця має допуск за 12-м квалітетом точності. Для отримання такої точності достатньо було б чорнової обробки торців. Але для забезпечення шорсткості поверхні торців Ra 1,25 і необхідної паралельності в межах 0,01 мм на довжині 100 мм кожен торець повинен мати три ступені обробки: чорновий і чистовий токарної обробки та шліфування. У відповідності з п. 1 рекомендацій, операційні допуски на розміри вказаних операцій необхідно прийняти: після чорнової обробки – за 12-м квалітетом (0,21 мм), після чистової – за 11-м квалітетом (0,16 мм). Допуск на розмір, що виконується на остаточній обробці – шліфуванні, потрібно також приймати у відповідності з економічною точністю цього методу за 10-м квалітетом (0,100 мм), хоча за кресленням потрібна менша точність – 12 квалітет.

4. Якщо розмір, що координує положення оброблюваної на даній операції поверхні, відліковують від іншої, ще не обробленої поверхні заготовки, то допуск на цей розмір потрібно приймати на один клас нижче класу економічної точності обробки.

На рис. 12.34 показане чорнове обточування торця К з витримуванням розміру 40–0,62 мм. Економічна точність чорнового обточування – 12-й квалітет та у відповідності з першою і другою рекомендаціями потрібно було, б прийняти на цей розмір допуск за 12-м квалітетом, що дорівнює 0,25 мм. Проте, оскільки операційний розмір вимірюють від чорнової, необробленої поверхні штамповки, допуск на нього прийнято за 13-м квалітетом (0,390 мм).

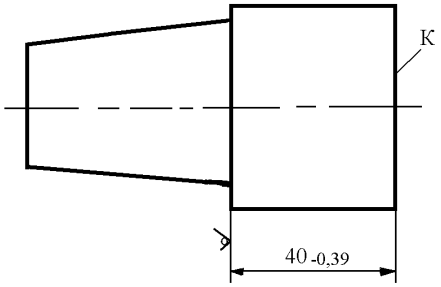


Рис. 12.34. Чорнова обробка торця К від необробленої бази

5. Якщо поверхня, що обробляється на даній операції, у наступному буде використана як база, то допуск на її розмір вибирають, виходячи з умови забезпечення заданої точності встановлення, точності вимірювання чи точності налагодження (в залежності від того, за яку базу буде використана поверхня, що розглядається).

На рис. 12.35 показано операцію чистового обточування поясків. Економічна точність чистового обточування – 11-й квалітет, і у відповідності з першою рекомендацією на розмір ∅178 мм потрібно прийняти допуск за 11-м квалітетом,

тобто Т = 0,25. Поверхні поясків є установчими базами для наступних операцій. Враховуючи, що центруючі елементи пристрою на цих операціях є жорсткими (несамоцентруючими), необхідно, щоб допуск на розмір ∅178 мм був не менше 0,100 мм. Це буде виконано, якщо прийняти на розмір 178 мм допуск за 9-м квалітетом, тобто Т = 0,100 мм. Зрозуміло, трудомісткість та вартість виконання операції при цьому зростуть.

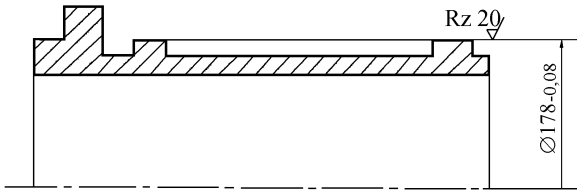


Рис. 12.35. Чистове обточування базуючих поясків

6. Якщо розмір, що витримується на даній операції, впливає на точність інших розмірів деталі, то допуск на нього визначають на основі розв'язання відповідних розмірних ланцюгів (п. 2.3.2). В таких випадках часто доводиться приймати допуск за більш точним квалітетом, ніж економічна точність застосовуваного методу обробки. Порогом тут вже буде технічно досяжна точність.

7. Допуск на розмір, що координує положення осі отвору (від бази чи від осі іншого отвору) повинен бути проставлений по симетричній двобічній системі (наприклад, ±0,20 мм).

Величину допуску приймають у відповідності з п'ятою рекомендацією (якщо отвори будуть використані в наступному як бази) чи у відповідності з першою рекомендацією (якщо операція є попереднім ступенем обробки отворів). Аналогічно вибирають величину і систему простановки допуску на відстані між осями шийок кривошипів і колінчастих валів.

Призначення допусків форми і розташування поверхонь в операціях технологічних процесів. У відповідності зі стандартом система відліку і нормування відхилень форми і взаємного розташування поверхонь базується на використанні принципу прилягаючих поверхонь і профілів. Допустимі відхилення форми і розташування поверхонь в кресленнях і операційних картах технологічних процесів можуть бути помічені або умовними знаками за стандартом, або у вигляді технологічних вимог, як показано в додатку 31.

При технологічних і розмірних розрахунках для спрощення похибки форми і розташування називають просторовими відхиленнями, які в залежності від прийнятих методів контролю можна поділити на дві групи: просторові відхилення, які входять в допуск на розмір ρ, і просторові відхилення, які при прийнятому способі вимірювання розміру не входять в допуск на розмір, а мають самостійне значення cρ. Наприклад, якщо діаметр вала вимірюють скобою, то викривлення осі вала виступає як самостійне просторове відхилення. Якщо ж вали будуть контролювати по діаметру граничними контрольними втулками, що мають довжину, рівну довжині вала, то просторове відхилення (кривизна) не буде мати самостійного значення, а ввійде в допуск на розмір.

Оскільки технолог при проектуванні технологічної операції призначає не тільки способи виконання операції, але й способи контролю, то завжди є можливість визначити, буде те чи інше просторове відхилення входити в допуск на розмір, чи

буде мати самостійне значення. Необхідність такого розділу буде видна при виконанні розмірних розрахунків, які будуть розглянуті далі. З іншого боку, величини цих допусків обмежуються можливостями вибраних для операцій технологічних систем.

Задача призначення технологічних вимог щодо розташування поверхонь складається з двох частин. По-перше, це – вибір величин допусків розташування, які призначаються у відповідності з таблицями статистичної точності (додатки 31–33). По-друге, призначення необхідного і достатнього числа технічних вимог, які однозначно визначають положення кожної поверхні, що з'являється при виконанні операції. Якщо цього не зробити, то стає неможливим прогноз точності процесу, і якість деталі, що виготовляється за цим процесом, не гарантується.

По питанню про необхідне число технічних вимог щодо розташування поверхонь розроблено декілька правил [11].

Правило 1. Допустима величина самостійних просторових відхилень, які не входять в допуск на розмір, повинна бути обов'язково вказана в операційній карті чи умовними позначеннями, чи у вигляді технічних вимог.

Правило 2. Для того щоб забезпечити однозначне положення плоскої поверхні (торця) деталі типу тіла обертання, необхідно і достатньо задати одну технічну вимогу – допуск перпендикулярності відносно осі циліндричної (подвійної установчої базової поверхні (базового торця)).

Примітки:

1. Вимога паралельності може бути не задана безпосередньо, але тоді розуміється, що допуск паралельності дорівнює допуску на розмір, що координує положення обробленого на даній операції торця.

2. При обробці декількох торців з незмінним закріпленням допуск паралельності може бути заданий не тільки відносно базового торця, але й відносно обробленого.

Правило 3. Для того щоб забезпечити однозначне положення циліндричної поверхні деталі типу тіла обертання, необхідно і достатньо задати дві технічні вимоги: допуск, що регламентує перекіс осі, і допуск співвісності відносно базових поверхонь.

Примітки:

1. У випадку, якщо допуск, що регламентує перекіс осі, не заданий, то його вважають рівним допуску співвісності.

2. Аналогічні технічні вимоги задають в тому випадку, якщо оброблювана деталь відокремлюється від бази (відрізання обточеної деталі від прутка).

Правило 4. Для того щоб забезпечити однозначне положення осі отвору в корпусній деталі, необхідно і достатньо задати дві технічні вимоги: допуски

перпендикулярності відносно установчої базової поверхні у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Правило 5 Для того щоб забезпечити однозначне положення плоскої тривимірної деталі (типу корпусної), необхідно і достатньо задати такі технічні вимоги: а) для площини, що розташована паралельно установчій базі, – дві технічні вимоги – допуски паралельності обробленої поверхні відносно базової у двох взаємоперпендикулярних напрямках; б) для площини, що розташована перпендикулярно до установчої бази, – дві технічні вимоги – допуски перпендикулярності до установчої і напрямної баз чи допуски перпендикулярності до установчої бази і паралельності напрямній базі.

Примітки:

1. Вимога паралельності може бути не задана безпосередньо, але тоді розуміється, що допуск паралельності дорівнює допуску на розмір, що координує положення даної поверхні в операції.

2. Допускається, щоб одна з вимог регламентувала відхилення від перпендикулярності плоскої поверхні, а друга – відхилення від паралельності.

Правила 1–5 повинні точно виконуватись при повному розмірному аналізі технологічного процесу, тобто при виконанні РАНТП.

12.4.4. Приклад елементарного розмірного аналізу обробки поверхонь деталі (ЕРАН поверхні)

ЕРАН поверхні деталі розглянемо на прикладі обробки деталі "Втулка" (рис. 12.36). Спочатку визначається метод одержання заготовки, в нашому прикладі, це – виливок. Розробляється маршрут обробки поверхонь. Квалітет точності та шорсткість поверхні по переходах приймаються за таблицями середньої економічної точності обробки (див. додаток 27). Маршрут обробки із зазначенням параметрів точності та шорсткості заносимо в табл. 12.13. Згідно з наміченими методами обробки, розмірами і квалітетом точності по переходах, табличним методом призначаємо допуски на виконання переходів і припуски [31]. Використовуючи ці дані та номінальні розміри з креслення деталі, визначаємо розрахункові операційні (по переходах) розміри. Результати зводимо в табл. 12.14. За результатами табл. 12.14 виконуємо креслення заготовки (рис. 12.37).

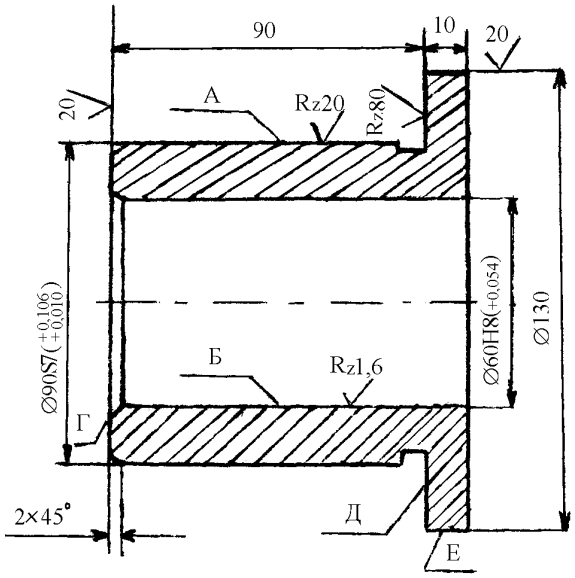


Рис. 12.36. Втулка виробництво – масове, матеріал – чавун СЧ 15.

Таблиця 12.13

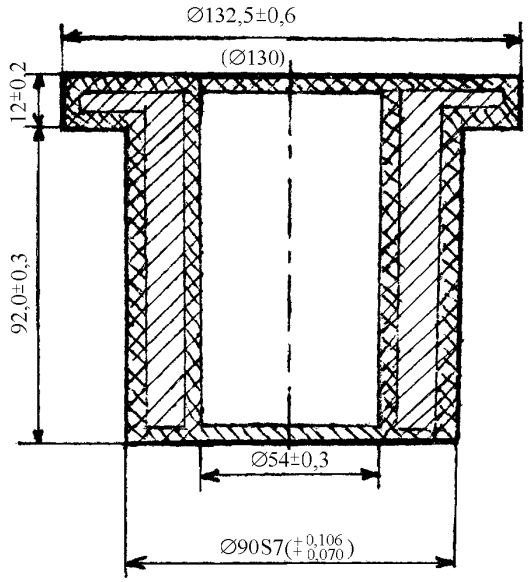
Склад операцій для механічної обробки втулки по рис. 12.36

Поверхня	Послідовність і вид обробки	Квалітет точності	R_z, мкм
А	1. Чорнове обточування	12–13	160...80
	2. Чистове розточування	10–11	40...20
Б	1. Чорнове розточування	12–13	160...80
	2. Напівчистове розточування	10–11	40...20
	3. Чистове розточування	8–9	20...10
	4. Розгортання	6–7	3,2...1,6
Г	1. Підрізання чорнове	12–13	160...80
Д	1. Підрізання торця	12–13	160...80
Є	1. Чорнове обточування	12–13	160...80
	2. Чистове обточування	10–11	40...20

Таблиця 12.14

Межопераційні та загальні розміри заготовки

Найменування операцій (переходів)	Розрахункові величини, мм			Література [31]
	припуск Z	кінцевий розмір	допуск на попередню обробку	
Поверхня А				
Заготовка	–	93,1	0,30	С. 105
Чорнове точіння	2,0	91,1	0,071	С. 175–191
Чистове точіння	1,1	90,57	0,106	С. 175–191
Поверхня Б				
Заготовка	–	54,0	H8+0,3	
Чорнове розточування	2,0	56,0	+0,4	С. 175–191
Напівчистове розточування	2,0	58,0	+0,4	
Чистове розточування	1,5	59,5	+0,2	
Розвертання	0,5	60,0	+0,05	С. 175–191
Поверхня Т				
Заготовка	–	92,0	H14±0,3	С. 175–191
Підрізання торця	2,0	90,0	-0,87	С. 191
Поверхня Д				
Заготовка	2,0	12,0	±0,2	С. 105, 174
Підрізання фланця	2,0	10,0	H14-0,36	С. 191
Поверхня Е				
Заготовка	2,5	132,5	+0,5	С. 105
Чорнове обточування	–	130	±1,0	С. 175–191



матеріал – СЧ 15; невказані радіуси R = 3мм

Рис. 12.37. Креслення заготовки з припусками, розрахованим табличним способом.

На недоліки табличного визначення припусків і допусків вказано у пп. 2.4.2 та 2.4.3, тому цей метод може застосовуватись лише в одиничному і дрібносерійному виробництвах. В серійному виробництві для визначення припусків застосовують, як правило, розрахунково-аналітичний метод, а допуски призначаються за методиками, викладеними в пп. 2.3.2 та 2.4.3.

Розглянемо ЕРАН поверхні з застосуванням розрахунково-аналітичного методу визначення припусків на прикладі поверхні 2 вала, зображеного на рис. 12.38.

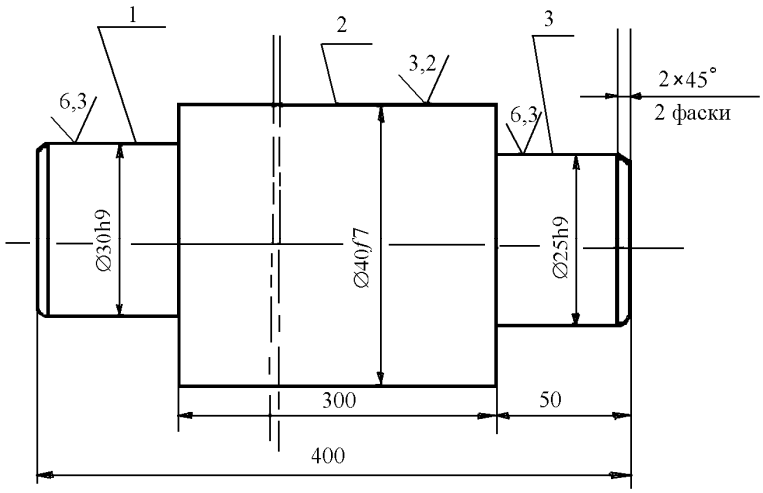


Рис. 12.38. Ескіз вала (заготовка – гарячекатаний прокат, звичайної точності, після розрізання виправляється і центрується)

Необхідно визначити проміжні припуски і операційні розміри при обробці поверхні вала ∅40f7 (рис. 12.38).

Технологічний маршрут обробки поверхні зведено в табл. 12.15. Аналітичний розрахунок припусків для найбільшої ступіні вала, яка визначає діаметр прокату (поверхня 2), наведений в табл. 12.16.

Таблиця 12.15

Технологічний маршрут обробки поверхні ∅40f7

№ з/п	Технічні операції або переходи	Шорст-кість	Квалітет	Допуски, мм	Літера-тура [31]
1	Заготовка	500	h15–16	1100	С. 105
2	Чорнове точіння	160	14(h14)	620	С. 89
3	Напівчистове точіння	40	12(h12)	840	С. 89
4	Попереднє шліфування	10	9(h9)	50	С. 89
5	Чистове шліфування	3,2	7(h7)	25	С. 89

Таблиця 12.16

Аналітичний розрахунок припусків для найбільшої ступіні вала, яка визначає діаметр прокату (поверхня 2)

№ з/п	Формули для розрахунку шуканої величини	Числові значення величин
1	2	3
I	Визначення розрахункового припуску на чорнове точіння	
	1. T_3 – дефектний шар на прокаті	$T_3 = 150$ мкм
	2. R_3 – шорсткість прокату	$R_3 = 150$ мкм
	3. Δ_3 – кривизна прутка після правлення (просторове відхилення для прокату обмежуються кривизною):	
	$\Delta_3 = \Delta K l_k$,	
	де ΔK – питома кривизна на 1 мм довжини, мкм;	$_{\Delta}K = 1{,}5$ мкм
	ℓ_k – половина довжини заготовки.	$l_k = 200$ мкм
	$\Delta_3 = 1{,}5 \cdot 200 = 300$ мкм.	$\Delta_3 = 300$ мкм
	4. ε_1 – похибки встановлення на центрах внаслідок неточності зацентровування:	
	$\varepsilon_1 = 0{,}25T_3 = 0{,}25 \cdot 275$ мкм	$\varepsilon_1 = 275$ мкм
	$2Z_1 \min = 2\left(150 + 150 + \sqrt{300^2 + 275^2}\right) = 1415$ мкм	$2Z_{1\min} = 1{,}45$ мм
	$2Z_1 \max = 2\left(150 + 150 + \sqrt{300^2 + 275^2}\right) + 1100 - 620 = 1925$ мкм	

Закінчення табл. 12.16

1	2	3
II	Визначення розрахункового припуску на чистове точіння, мкм: $2Z_2\ \min = 2\left(R_{z1} + h_1 + \left(\Delta_1 + \varepsilon_2\right)\right)$ $2Z_2\ \max = 2\left(R_{z1} + h_1 + \left(\Delta_1 + \varepsilon_2\right)\right) + T_1 - T_2$ 5. R_{Z1} – шорсткість після чорнового точіння 6. h_1 – шар наклепу після чорнового точіння 7. Δ_1 – кривизна (залишкова) після чорнового точіння: $\Delta_1 - 0{,}06\rho_3 = 0{,}06 \cdot 300 = 18$ мкм 8. ε_2 – похибка встановлення при напівчистовій обробці; $\varepsilon_2 = 0$ та для наступних переходів у випадку обробки в центрах	$2Z_{1max} = 1{,}93$мм $R_{Z1} = 100$ мкм $h_1 = 100$ мкм $\Delta_1 = 18$ мкм $\varepsilon_2 = 0$
III	$2Z_{2min} = 2\left(100 + 100 + \sqrt{18^2}\right) = 436$ мкм $2Z_{3max} = 436 + 620 - 340 = 716$ мкм	$2Z_{2min} = 0{,}44$ мм $2Z_{2max} = 0{,}72$ мм
IY	Визначення припуску на попереднє шліфування, мкм: $2Z_3\ \min = 2\left(R_{Z2} + h_2 + \overline{\Delta_2}\right)$ $2Z_3\ \max = 2\left(R_{Z2} + h_2 + \overline{\Delta_2}\right) + T_2 - T_3$ 9. R_{Z2} – висота гребінця після чистового точіння 10. h_2 – шар наклепу після чистового точіння 11. Δ_2 – кривизна після чистового точіння $\Delta_2 = 0{,}05\rho_1 = 0{,}05 \cdot 18 = 0{,}9$ мкм $\cong 1{,}0$ $2Z_{3min} = 2(50 + 50 + 1) = 202$ мкм $2Z_{3max} = 200 + 340 - 50 = 490$ мкм	$R_{Z2} = 50$ мкм $T_2 = 50$ мкм $2Z_3$min=0,02 мм $2Z_3$max=0,49 мм
	Визначення припуску на чистове шліфування, мкм: $2Z_{4min} = 2\left(R_3 + T_3 + \overline{\rho_3}\right)$ $2Z_{4max} = 2\left(R_{Z3} + T_3 + \overline{\Delta_3}\right) + T_3 - T_4$ 12. R_{Z3} – висота гребінців після попереднього шліфування 13. h_3 – товщина наклепаного шару після попереднього шліфування 14. Δ_3 – кривизна після попереднього шліфування, мкм: $\Delta_3 = 0{,}04\rho_3 = 0{,}04 \cdot 18 = 0{,}72$ $2Z_{4min} = 2(10 + 20 + 1) = 62$ $2Z_{4max} = 60 + 50 - 25 = 85$	$R_{Z3} = 10$ мкм $h_3 = 20$ мкм $\Delta_3 = 1$ мкм $2Z_{4min} = 0{,}06$ мм $2Z_{4max} = 0{,}85$ мм

Аналітичний розрахунок проміжних припусків на обробку і граничних розмірів по технологічних переходах виконується за методикою, що наведено в табл. 12.17.

Таблиця 12.17

Методика розрахунку припусків та граничних розмірів по технологічних переходах

Для зовнішніх поверхонь	Для внутрішніх поверхонь
1. Для оброблюваної заготовки намітити установчі бази і технологічний маршрут обробки	
2. Записати в розрахункову карту (табл. 12.18) у послідовності обробки поверхні n переходи, для яких проводиться розрахунок	
3. Записати значення R_z, h_a, Δ_a, ε_b, T_a	
4. Визначити розрахункові значення припусків на обробку по всіх технологічних переходах (див. табл. 9.16)	
5. Записати для кінцевого переходу в графу "Розрахунковий розмір" найменший граничний розмір деталі за кресленням	Записати для кінцевого переходу в графу "Розрахунковий розмір" найбільший граничний розмір деталі за кресленням
6. Для попереднього йому переходу визначити розрахунковий розмір доданням до найменшого граничного розміру за креслення розрахункового припуску Z_{bmin}	Для попереднього йому переходу визначити розрахунковий розмір відніманням з найбільшого граничного розміру за кресленням розрахункового припуску Z_{bmin}
7. Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного попереднього переходу доданням до розрахункового розміру наступного за ним суміжного переходу розрахункового припуску Z_{bmin}	Послідовно визначити розрахункові розміри для кожного попереднього переходу відніманням від розрахункового розміра наступного за ним суміжного переходу розрахункового припуску Z_{bmin}
8. Записати найменші граничні розміри по всіх технологічних переходах, округлюючи їх збільшенням розрахункових розмірів до того ж знака десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу	Записати найбільші граничні розміри по всіх технологічних переходах, округлюючи їх зменшенням розрахункових розмірів до того ж знака десяткового дробу, з яким дано допуск на розмір для кожного переходу
9. Визначити найбільші граничні розміри доданням допуску до округленого найменшого граничного розміру	Визначити найменші граничні розміри відніманням допуска з округленого найбільшого граничного розміра
10 Записати граничні значення припусків Z_{amax} як різницю найбільших граничних розмірів і Z_{amin} як різницю найменших граничних розмірів попереднього і виконуваного переходів	Записати граничні значення припусків Z_{amax} як різницю найменших граничних розмірів Z_{amin} як різницю найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів
11. Визначити загальні припуски Z_{amax} і Z_{amin}, підсумовуючи проміжні припуски	
12. Перевірити правильність проведених розрахунків співставленням різниці припусків і допусків за формулою: $T_z = Z_{bmax} - Z_{bmin} = T_0 - T_b$.	

Примітка. Призначення квалітетів точності та шорсткості оброблюваної поверхні по операціях викладено в [31, т. 1, с. 96]. Основні розрахункові формули [31], мкм:

$$2Z_b \min = 2\left(R_z + T_a + \overline{\rho_a} + \overline{\varepsilon_\beta}\right);$$

$$2Z_b \max = 2\left(R_z + T_a + \overline{\rho_a} + \overline{\varepsilon_\beta}\right) + \delta_o - \delta_\beta$$

При цьому різниця проміжних припусків повинна бути рівною різниці допусків на проміжні розміри, а різниця загальних припусків – різниці допусків на розміри чорнової заготовки та готової деталі.

Зведені дані і схему аналітичного розрахунку припусків і граничних розмірів наведені в табл. 12.18 і показані на рис. 12.39.

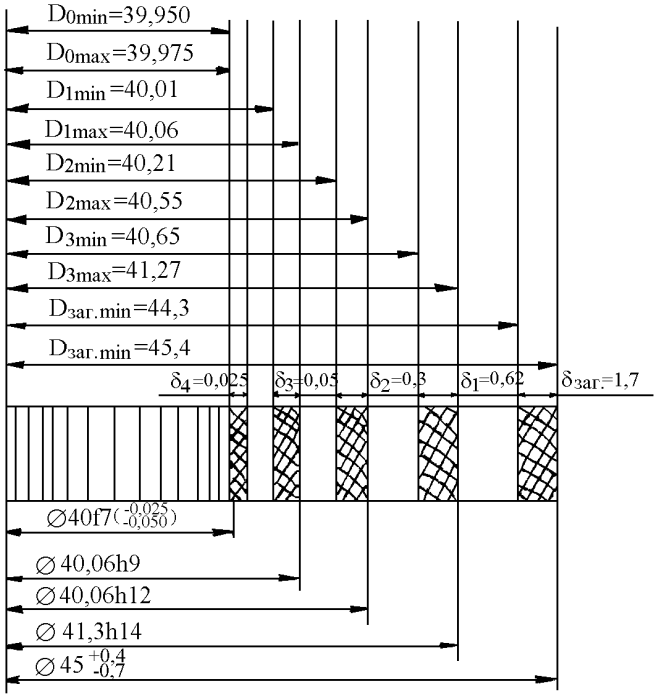


Рис. 12.39. Схема полів допусків і припусків на оброблюваній поверхні

Таблиця 12.18

Зведена таблиця аналітичного розрахунку припусків та граничних розмірів на обробку вала $\varnothing 40f7\left(^{-0,025}_{-0,050}\right)$

№ з/п	Технологічні операції та переходи	Шорст-кість, мкм		Елементи припусків. мм				Розра-хунко-вий припуск Zbmin, мкм	Розра-хунко-вий розмір Dmin, мм	До-пуск, мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення приггусків	
				Rz	h_a	Δ_a	ε_a				Dmax	Dmin	Zmax	Zmin
1	Заготовка	500	15-16	150	150	300	–		42,070	1100	43,200	42,1	–	–
2	Чорнове точіння	160	14 14	100	100	18	275	1420	40,65	620	41,27	40,65	1,93	1,45
3	Напівчнстове точіння	40	12 12	50	50	1	–	436	40,214	340	40,55	40,21	0,72	0,44
4	Попереднє шліфування	10	9 9	10	20	1	–	202	40,012	50	40,060	40,010	0,49	0,2
5	Чистове шліфування	3,2	7 7	с 5	15	–	–	62	39,95	25	39,975	39,950	0,085	0,060
	Всього												3,225	2,150

Перевіримо правильність проведених розрахунків порівнянням різниці припусків та допусків знаючи, що різниця (Zbmax – Zbmin) повинна дорівнювати різниці (δa – δb):

3,225 – 2,150 = 1,100 – 0,025

1,075 = 1,0

12.4.5. Розробка розмірної схеми технологічного процесу, граф-дерева механічної обробки та виявлення розмірних ланцюгів

Загальні відомості

Основою розмірного аналізу є розмірна схема механічної обробки. Вихідною інформацією для побудови розмірної схеми є операційні ескізи технологічного процесу, який аналізується. Операційні ескізи повинні бути виконані з дотриманням всіх вимог, які висуваються до технологічної документації. Основні з них такі: операційні ескізи кресляться без масштабу, але в такому вигляді, щоб усі необхідні елементи давали чітке уявлення про конструкцію деталі (заготовки). В тому випадку, коли однієї проекції не вистачає для того, щоб показати всі елементи деталі, головну проекцію доповнюють іншими проекціями з усіма необхідними розрізами. На ескізах показують всі базові поверхні з обов'язковою простановкою опорних точок (див. додатки 24–26), поверхні, які обробляються, показують товстими лініями [/2 - 3/S], позначають всі операційні та координатні розміри, проставляють шорсткість оброблюваних поверхонь, вказують окремі технічні умови (наприклад, неспіввісність, неперпендикулярність тощо).

При побудові розмірних ланцюгів операційні розміри, які обов'язкові до виконання в межах заданих відхилень, є складовими ланками. Розмір, який буде отриманий в ході виконання операції, буде замикальною ланкою розмірного ланцюга. Найчастіше замикальними ланками виступають конструкторські розміри, розміри припусків, величини ексцентриситетів, неспіввісність та інші технічні умови на виготовлення деталі.

Операційні розміри позначають великими літерами з індексами, які вказують номер операції, на якій цей розмір виконується, через крапку вказується номер переходу або порядковий номер розміру. Наприклад, $A_{05.1}$ – розмір А на операції 05 першого переходу.

Розміри заготовки також позначають тими ж великими літерами з індексами, першою цифрою яких є 0, що означає розмір який відноситься до заготовки, друга цифра означає порядковий номер розміру. Наприклад, A_{01} – це перший розмір заготовки.

Радіус циліндричної поверхні позначають заголовними літерами з індексом, який свідчить про номер операції та переходу. Діаметри позначають тими ж літерами та індексами з подвійним значенням радіуса. Наприклад, $A_{05.2}$ – радіус циліндричної поверхні, яка отримана на 05 операції при виконанні другого переходу, $2A_{05.2}$ – діаметр цієї ж поверхні.

Припуски позначаються літерою Z теж з подвійною індексацією. Наприклад, $Z_{05.1}$ – припуск, який знімається з поверхні, яка обробляється на операції 05 першого переходу.

Відхилення поверхні показують видом відхилення з цифрами, які позначають поверхні або номер відхилення. За необхідності вид відхилення позначають [26]:

N(n) – відхилення від перпендикулярності

P(p) – відхилення від паралельності;

E(e) – відхилення від співвісності.

Наприклад, N_{1-2} – відхилення від перпендикулярності поверхні 1 відносно поверхні 2.

При числовому визначенні ланок радіусів беруть від відомого розміру діаметра половину номінального значення та половину відхилень з тими ж знаками. Якщо відомо, що діаметр складає $2A = 30_{-0,50}$ мм, то радіус $A = 15_{-0,025}$ мм.

Ланки-відхилення від перпендикулярності, паралельності, співвісності приймають з номінальним значенням, рівним 0 та симетричним розташуванням відхилень. Якщо допустиме відхилення від співвісності 0,05 мм, то при розрахунках воно складає 0±0,025 мм, радіальне биття – 0±0,05 мм.

Часто при підсумовуванні відхилень від перпендикулярності та паралельності потрібно враховувати їх значення, віднесені до одиниці довжини.

Розмірні схеми є спеціальними технологічними документами, в яких графічним методом вказують розмірні параметри деталі на кожній технологічній операції та фіксують зміни кожного розмірного параметру в міру виконання процесу.

Розмірні схеми можна поділити на чотири групи:

- розмірні схеми лінійних розмірів;
- розмірні схеми діаметральних розмірів і відхилень від співвісності;
- комбіновані розмірні схеми для визначення параметрів точності деталей типу корпусних;
- розмірні схеми відхилень розташування поверхонь деталей.

Побудова розмірної схеми лінійних розмірів

Побудова розмірної схеми починається з перетвореного креслення заготовки. Незалежно від проекції креслення (фронтальна, вигляд збоку, вигляд зверху) ескіз заготовки показують таким чином, щоб розміри були розміщені тільки горизонтально. Масштаб на ескізах не витримується, але потрібно показати всі поверхні заготовки таким чином, щоб зберегти зовнішній вигляд заготовки.

На ескіз заготовки послідовно наносять операційні ескізи, що показують всі поверхні, які обробляються в технологічному процесі (рис. 12.44). Всі поверхні нумеруються. Вниз від кожної обробленої поверхні опускають вертикальні лінії. Під ескізом між вертикальними лініями розташовують поздовжні розміри заготовки, а потім поздовжні операційні розміри, які мають однобічну направленість – від базової поверхні до оброблюваної поверхні. Початок розміру позначають точкою, кінець розміру – стрілкою. Між раніше обробленою поверхнею та поверхнею, яка обробляється на даній операції, показують припуск хвилястою лінією. Найнижче між вертикальними лініями, які відносяться до поверхонь деталі, вказуються конструкторські розміри деталі у вигляді товстих ліній, які позначаються літерою К з індексом. Цифра індексу вказує на номер конструкторського розміру. В ході перенесення всіх ескізів технологічного процесу у вибраному напрямку на ескіз заготовки здійснюється побудова розмірної схеми.

Побудова розмірної схеми діаметральних розмірів

Розмірну схему у другій проекції (тіла обертання) будують подібно до першої (схеми лінійних розмірів), проте є і відмінності. Справа від розмірної схеми креслять вертикальні лінії, які імітують осі кожної циліндричної поверхні заготовки і деталі (якщо вони не збігаються, наприклад, зміщуються в процесі обробки за рахунок базування). Центрові фаски також мають свої осі. Всі поверхні, в тому числі і осі, нумеруються. Радіуси-ланки проводять від осі до твірної циліндричної осі. Осі між собою можуть бути з'єднані за допомогою зв'язків-відхилень від співвісності (лінії з

кружочками на кінцях) (рис. 12.47). Всі ці зв'язки (ексцентриситети) беруть з ескізів операції маршрутної технології. Таким чином, до складу розмірних ланцюгів треба включати і величини ексцентриситетів, що виникають між осями поверхонь заготовки і деталі. Ексцентриситети виникають внаслідок зміщення поверхонь заготовки, які викликані зміщенням частин ливарних форм (штампів), а також внаслідок зміщення поверхонь за рахунок похибки базування деталей при механічній обробці і похибок технологічної системи.

На розмірній схемі (рис. 12.47) прийняті такі позначення осей: 11 – вісь зовнішньої поверхні заготовки; 12 – вісь внутрішньої поверхні заготовки з більшим діаметром; 13 – вісь внутрішньої поверхні заготовки з меншим діаметром; 14 – вісь внутрішньої поверхні деталі з меншим діаметром (вона зміщена відносно такої ж осі заготовки за рахунок неспівпадання технологічних баз при обробці цієї поверхні). Ексцентриситети між осями поверхонь заготовки показані на схемі зв'язками e_1 і e_2.

Побудова схем відхилень розташування поверхонь

Зображення схеми відхилень розташування починають з нанесення вертикальних ліній, які повторюють всі вертикальні лінії, які були на розмірній схемі поздовжніх розмірів (рис. 12.44). Нумерація цих ліній береться також з цієї схеми. Справа від цих вертикалей, через якийсь проміжок, наносять вертикалі, що імітують горизонтальні поверхні (в даному випадку осі циліндричних поверхонь). Нумерацію осей беруть зі схеми діаметральних розмірів (рис. 12.47). З'єднуючи між собою вертикалі, графічно показують просторові відхилення. В схемі діаметральних розмірів допуск паралельного зміщення осей. В цих же межах може мати місце і перекошення осей, що зображується на схемі відхилень розташування.

Аналогічно зображуються всі просторові відхилення, що мають відношення до вказаних на схемі поверхонь і осей. Лінії, що з'єднують вертикалі, які лежать по один бік середнього проміжку, будуть ілюструвати просторові відхилення між паралельними поверхнями (тобто величини відхилень від паралельності). Лінії, що з'єднують вертикалі, які лежать по різні боки проміжка, ілюструють величини відхилень від перпендикулярності поверхонь і осей (рис. 12.50).

В схему відхилень розташування як ланки потрібно включати всі види просторових відхилень (як самостійні, так і ті, що входять в допуск розміру) всіх операцій технологічного процесу.

Необхідно звернути увагу, що номінали всіх величин на схемі розташування (і в рівняннях) дорівнюють нулю, і відхилення симетричні, тому всі ланки приймаються як збільшуючі і записуються в рівняннях зі знаком плюс.

Побудова комбінованої розмірної схеми

Комбіновані розмірні схеми будують у тих випадках, коли повинен бути виконаний розмірний аналіз деталі, що має різні поверхні (плоскі та циліндричні). В основному комбіновані схеми будують для корпусних деталей, які можуть бути представлені розмірними зв'язками в трьох і більше проекціях. Для кожної проекції, а за необхідності і для окремих перерізів, можуть бути побудовані комбіновані розмірні схеми, в яких будуть відображені не тільки зміни розмірів поверхонь, але й зміни їх взаємного розташування.

Для корпусної деталі необхідно будувати загальну схему відхилень розташування, що суміщає всі проекції та перерізи. Для побудови останньої

необхідно в технічних вимогах на операцію задати не тільки вид і допустиму величину відхилень розташування, але й напрямок їх вимірювання (у відповідності з правилами 4 і 5 п. 2.4.3). Вказання напрямку вимірювання (по осях координат) дозволяє правильно зв'язувати поверхні різних проекцій, забезпечити безпомилковий обхід контурів при складанні розрахункових рівнянь і вести розрахунок в питомих величинах просторових відхилень.

Побудова розмірних схем корпусних деталей, які не мають циліндричних поверхонь (отворів) не відрізняється від побудови розмірних схем для поздовжніх розмірів. Різниця буде тільки в тому, що таких схем буде три (у напрямку кожної з координатних осей), і при побудові схем розташування треба вказувати напрямки вимірювання.

Побудова розмірних схем корпусних деталей, які мають отвори, відрізняється від побудови розмірних схем поздовжніх розмірів деякими особливостями. Особливості ці полягають в тому, що осі отворів не виносяться вліво від схеми, їх показують на місці розташування як звичайні поверхні, причому, якщо осі заготовки і деталі не збігаються (причини неспівпадання вказані вище), то на схемі показують і ті, й інші, між ними показують зв'язок ланками ексцентриситету. Напрямок зміщення осей на схемі не має значення, оскільки при розрахунках номінальна величина ексцентриситетів дорівнює нулю. Припуски на обробку отворів показують тільки однобічно і на схемі показують не діаметри, а радіуси отворів. Докладніше це питання буде розглянуте на прикладі.

Побудова граф-дерева технологічного процесу

Деталь в процесі виготовлення можна розглядати як складний об'єкт, що складається з багатьох елементів (поверхонь) і зв'язків (розмірів) між ними. Такий об'єкт можна визначити методами теорії графів. При обробці деталей типу "тіла обертання" будують графи для поздовжніх і діаметральних розмірів. Для корпусних призматичних деталей граф будується для розмірів, що лежать в одній площині. Якщо на площині розміри розташовуються по двох координатних осях і ці групи розмірів незалежні між собою, то для кожної групи розмірів будується окремий граф.

Якщо прийняти поверхні заготовки і деталі за вершини, а зв'язки (розміри) між ними за ребра, то креслення деталі з конструкторськими і технологічними розмірами можна представити у вигляді двох дерев. Граф-дерево з конструкторськими розмірами і припусками на обробку називають вихідним. Дерево з технологічними розмірами називають похідним чи технологічним. Якщо обидва дерева сумістити, то такий змішаний граф дозволяє у закодованій формі представити геометричну структуру всього технологічного процесу обробки деталі і є його математичною моделлю. У суміщеному графі всі розмірні зв'язки і технологічні розмірні ланцюги виступають у явному вигляді. При цьому з'являється можливість, не звертаючись за допомогою креслення деталі та операційних ескізів прийнятого технологічного процесу, а використовуючи тільки інформацію, яку несе граф, виконати всі необхідні дослідження і розрахунки.

Будь-який замкнений контур на суміщеному графі, що складається з ребер вихідного і дуг похідного дерев, створює технологічний розмірний ланцюг. В цьому ланцюзі ребро вихідного дерева служить замикальною ланкою, а дуги похідного дерева – складовими ланками. В термінах теорії графів розмірний ланцюг – це шлях у похідному дереві, заданий ребром вихідного дерева. Якщо відомі довжини дуг

похідного дерева в даному ланцюгу, то можна знайти й довжину шляху (розмір чи допуск) замикальної ланки.

Кожний розмірний ланцюг створює цикл, в якому одне ребро повинно бути ребром вихідного дерева (конструкторський розмір чи припуск), а дуги похідного дерева – технологічними розмірами. Найкоротшим шляхом є цикл з двох ребер. Йому відповідає дволанковий розмірний ланцюг, в якому ребро вихідного дерева (конструкторський розмір чи припуск) є замикальною ланкою, а дуга похідного дерева (технологічний розмір) – складовою.

Граф розмірних ланцюгів будують на основі розмірної схеми технологічного процесу.

Порядок побудови графа розмірних ланцюгів розглянемо на прикладі обробки поздовжніх розмірів втулки (рис. 12.46). Спочатку побудуємо похідне дерево (на рис. 12.46 ребра зі стрілками). В кожній вершині графа вкажемо номер поверхні з розмірної схеми технологічного процесу (рис. 12.44). За корінь дерева потрібно вибирати вершину (поверхню), до якої на розмірній схемі технологічного процесу не підходить ні одна стрілка. Такою вершиною в розмірній схемі є поверхня 1 (технологічна база на першій операції). Вершину 1 (корінь дерева) рекомендується виділяти, наприклад, подвійним кружком (див. рис. 12.46). З неї виходять дуги (розміри) A_{01}, A_{03}, які спрямовані до вершин 5 і 9, з вершини 9 – дуги $A_{05.1}$, $A_{05.2}$, спрямовані до вершин 2 і 3, з вершини 3 – дуги $A_{10.4}$, $A_{15.1}$, $A_{10.1}$, спрямовані до вершин 4, 6, 7, 8.

Аналогічно будується вихідне дерево (на цих же вершинах). Оскільки ребра його не орієнтовані, при побудові за корінь можна вибирати будь-яку вершину, тобто будь-яку поверхню на кресленні деталі. Тому за корінь вихідного дерева приймаємо поверхню 3. Ребра вихідного дерева (криволінійні відрізки та хвилясті лінії) вказують на те, які вершини дерева зв'язані між собою конструкторськими розмірами чи розмірами припусків. Поверхня 3 зв'язана з поверхнею 6 розміром K_1, з поверхнею 5 – розміром K_2, з поверхнею 4 – розміром K_3. З'єднаємо ребрами відповідні вершини графа. Поверхні 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9 зв'язані розмірами припусків $Z_{05.1}$, $Z_{05.2}$, $Z_{15.1}$, $Z_{10.2}$, $Z_{10.1}$.

Після побудови розмірної схеми суміщеного графа технологічного процесу необхідно перевірити правильність побудови, використовуючи такі правила.

Правило 1. До кожної поверхні на розмірній схемі (крім поверхні, яка є базовою на першій операції) повинно підходити тільки по одній стрілці. Від кружечка, який позначає базову поверхню на граф-дереві, лінії тільки відходять.

Правило 2. Кількість поверхонь на розмірній схемі повинна бути на одиницю більша від суми всіх технологічних розмірів, включаючи і розміри заготовки.

Правило 3. Сума всіх конструкторських розмірів та кількість припусків повинні дорівнювати сумі технологічних розмірів, включаючи і розміри заготовки.

При побудові граф-дерева необхідно слідкувати за тим, щоб не було зависання вершин (не підходить ні одна лінія) або зациклювання (до однієї вершини підходить декілька стрілок).

Для розмірних схем і граф-дерев радіального напрямку можна встановити такі правила перевірки правильності побудови:

Правило 1. Це правило залишається незмінним, тобто вимоги такі ж, як і для поздовжніх розмірів.

Правило 2. Кількість поверхонь на розмірній схемі (без врахування осей) повинно дорівнювати кількості технологічних розмірів.

Правило 3. Залишається таким, як і для поздовжніх розмірів (без врахування

ексцентриситетів).

Виявлення технологічних розмірних ланцюгів з розмірної схеми та за допомогою графів

Виявлення розмірних ланцюгів за розмірною схемою починають з останньої операції. У такій же послідовності розраховують розмірні ланцюги. При цьому необхідно, щоб у кожному новому ланцюгу був невідомим тільки один розмір. Спираючись на схеми розмірних ланцюгів, визначають тип ланок та складають вихідні рівняння, а потім їх розраховують.

Схеми розмірних ланцюгів обробки втулки за поздовжніми та радіальними розмірами показані на рис. 12.45 і рис. 12.48.

Вихідні рівняння для розрахунку розмірних ланцюгів для поздовжніх розмірів і розмірів у радіальному напрямку наведені у табл. 12.20 та на рис. 12.49.

Виявлення технологічних розмірних ланцюгів за розмірною схемою технологічного процесу в ряді випадків може виявитись дуже трудомістким, оскільки технологічні розмірні ланцюги часто є зв'язаними. Тому при їх побудові необхідно, щоб у кожному розмірному ланцюгу був лише один конструкторський розмір чи один розмір припуску, який є замикальною ланкою розмірного ланцюга. Складності виявлення технологічних розмірних ланцюгів за розмірною схемою пояснюються тим, що вони виступають на схемах не явно, а у прихованому вигляді. Тому їх виявлення має чисто розумовий характер. Виявлення технологічних розмірних ланцюгів значно спрощується при використанні графа-дерева технологічного процесу, побудова якого розглянута вище.

При виявленні технологічних розмірних ланцюгів по графу необхідно вибирати такі елементарні контури, в яких міститься тільки по одному ребру вихідного дерева, а дуги належать похідному дереву. Загальне число розмірних ланцюгів на графі повинно дорівнювати числу технологічних розмірів на розмірній схемі технологічного процесу.

Для визначення знаків складових ланок розмірних ланцюгів по графу необхідно користуватись таким правилом. Замикальній ланці надається знак "–" і, починаючи з цієї ланки, починаючи з вершини з меншим номером, у певному напрямку обходять складові ланки замкненого контуру. Якщо в напрямку обходу дуга ланцюга буде з'єднувати вершину меншого порядкового номера з вершиною більшого номера, то дузі надається знак "+", а якщо дуга з'єднує вершину більшого номера з вершиною меншого номера – знак "-".

Виявлення технологічних розмірних ланцюгів по графу необхідно починати з дволанкових ланцюгів, а потім в такій послідовності, щоб в кожному ланцюзі була тільки одна невідома за величиною ланка, решта ж ланок була б уже визначена в результаті розрахунку попередніх розмірних ланцюгів. Рівняння для розрахунку технологічних розмірних ланцюгів зводиться у таблицю (див. приклад, табл. 12.20.)

Необхідно відмітити, що побудова графової моделі не тільки полегшує виявлення розмірних ланцюгів, але й дозволяє знайти помилки в технологічному процесі чи на кресленні деталі. Наприклад, якщо при складанні похідного чи вихідного дерева виявиться розрив між вершинами чи з'явиться замкнений контур на будь-якому дереві, то у першому випадку це вказує на відсутність потрібних розмірів в прийнятій технології обробки чи на кресленні деталі, а у

другому – на наявність зайвих розмірів. Якщо на похідному дереві до якої-небудь вершини (крім кореневої) підходить більше однієї стрілки дуг графа і шлях від кореня дерева до кінцевої вершини не простежується напрямком дуг, це свідчить про необхідність заміни прийнятих технологічних баз технологічного процесу. Якщо на суміщеному графі для якого-небудь технологічного ланцюга не вдається виявити розрахункове рівняння з однією і тільки однією невідомою складовою ланкою, необхідно переглянути порядок і кількість переходів обробки попередньо спроектованого технологічного процесу.

Якщо перед розробником технологічного процесу поставлена задача встановити величини технологічних розмірів та їх граничних відхилень для окремої операції технологічного процесу, то розмірну схему технологічного процесу не складають. Будують суміщений граф, який відображає зв'язки конструкторських і технологічних розмірів для даної операції. Виявляють технологічні розмірні ланцюги. Розраховують значення технологічних розмірів та їх граничних відхилень і проставляють їх на операційному ескізі операції, що проектується, або використовують для настроювання різального інструмента на даній операції.

Виявлення технологічних розмірних ланцюгів може бути реалізоване на ЕОМ.

Розв'язання технологічних розмірних ланцюгів і визначення граничних значень розмірів та припусків

а) *Особливості і нові положення теорії та методики розрахунку технологічних розмірних ланцюгів при виконанні розмірного аналізу технологічних процесів*

Методика розрахунку залежить від того, який розмір є замикальною ланкою технологічного розмірного ланцюга.

Якщо замикальною ланкою буде конструкторський розмір деталі за кресленням, то розрахунок такого технологічного ланцюга не викликає ніяких труднощів і зводиться до визначення номінального розміру допуску та граничних відхилень (розмірів) шуканого технологічного розміру за відомими формулами методу максимуму-мінімуму.

Якщо замикальною ланкою ланцюга є припуск Z, що залишається для наступного переходу, то спочатку необхідно визначити його мінімальне значення Z_i^{min}. При цьому необхідно врахувати, що рекомендації щодо вибору чи розрахунку Z_i^{min}, які викладені у довідниках, для точних технологічних розрахунків непридатні. Такий висновок пов'язаний з наступними теоретичними положеннями.

Методика розрахунку розмірних ланцюгів при розмірному аналізі технологічних процесів базується на використанні методу максимуму-мінімуму, який точно відповідає тільки схемі розташування припусків та допусків для методу пробних ходів та вимірювань (рис. 12.40, *а*).

Проаналізуємо цю схему з точки зору її відповідності теорії розрахунку розмірних ланцюгів. Головне положення цієї теорії полягає у тому, що допуск замикальної ланки дорівнює сумі допусків складових ланок (розмірів). У даному випадку замикальною ланкою є припуск Z_i, а складовими ланками будуть технологічні розміри a_i та a_{i-1}, які мають відповідно допуски T_i та T_{i-1}.

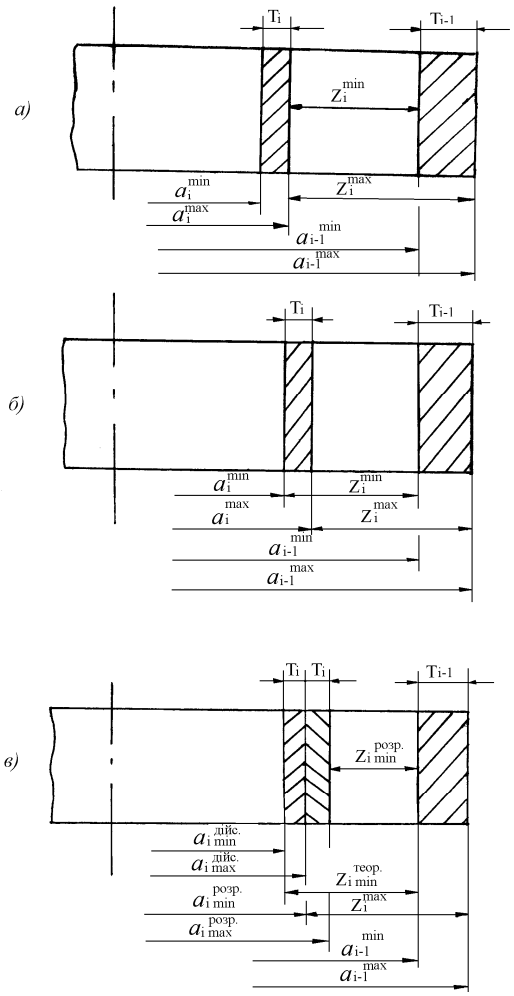


Рис. 12.40. Схеми розташування припусків і допусків: а – схема 1 – метод пробних ходів та вимірювань; б – схема 2 – метод автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах; в – схема 3 – розрахункова, тільки для розмірного аналізу технологічних процесів

Визначимо допуск припуску Z_i:

$$T_{Z_i} = Z_i^{max} - Z_i^{min} = T_i + T_{i-1}.$$

Аналіз наведеної формули свідчить про повну відповідність розглянутої схеми I теорії розрахунку розмірних ланцюгів. Проте виникає інша суперечність, що пов'язана з областю використання методу пробних ходів та вимірювань. Цей метод, а отже, і його схема, використовуються в умовах одиничного виробництва, де взагалі немає необхідності виконувати розмірний аналіз технологічних процесів.

Ефективна область використання розмірного аналізу це – великосерійне та масове виробництво. Інколи його необхідно застосовувати і в умовах середньо-, а

також дрібносерійного виробництва. Але у будь-якому випадку це пов'язано з іншим методом забезпечення потрібної точності обробки, а саме з методом автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах. Схема розташування припусків і допусків для цього методу наведена на рис. 12.40, *б* (схема II).

Проаналізуємо цю схему за аналогією зі схемою I. Допуск припуску Z_i дорівнює:

$$T_{Z_i} = Z_i^{max} - Z_i^{min} = T_{i-1} - T_i,$$

тобто допуск замикальної ланки не дорівнює сумі допусків складових ланок. Таким чином, друга схема не вкладається в теорію розмірних ланцюгів і при розрахунках буде давати помилкові результати. Разом з тим, ця схема точно відображає реальні явища, притаманні методу автоматичного отримання розмірів на налагоджених верстатах і її необхідно врахувати в розрахунках при виконанні розмірного аналізу.

Теоретична суперечність, що виникає у цьому випадку, може бути розв'язана побудовою третьої (розрахункової) схеми (рис. 12.40, *в*). У цю схему введена так звана розрахункова величина $Z_{i\,min}^{розр.}$, яка буде відрізнятися від теоретичної, але буде придатна для використання в розмірному аналізі технологічних процесів.

Для обґрунтування нових розрахункових залежностей сумістимо всі три схеми розташування припусків і допусків на обробку на одному рисунку.

Теоретично величина $Z_i^{min} = (R_z + h)_{i-1} + \Delta_{\sum_{i-1}} + \varepsilon_i$ у першій та другій схемах повинна бути однаковою. Якщо цю величину без змін ввести до другої схеми, а при розрахунках використовувати формули, притаманні першій схемі, отримаємо:

$$Z_i^{max} = Z_i^{min} + T_i + T_{i-1}.$$

У той же час за другою схемою має бути:

$$Z_i^{max} = Z_i^{min} + T_{i-1} - T_i.$$

З наведених формул виходить, що у випадку використання для другої схеми теоретично правильних величин Z_i^{min} ми штучно завищуємо Z_i^{max} на $2T_i$. На практиці це призведе до підвищення витрат матеріалу без будь-якої технологічної необхідності. Тому третю (розрахункову) схему будуємо, виходячи з головної вимоги, щоб у ній величина Z_i^{max} строго відповідала реальній схемі II. Тоді розрахункова величина $Z_{i\,min}^{розр.}$ буде рівна:

$$Z_{min}^{розр.} = Z_{i\,min}^{теор.} - 2T_i.$$

Проаналізуємо відповідність третьої (розрахункової) схеми теорії розмірних ланцюгів із врахуванням величини $Z_{i\,min}^{розр.}$:

$$T_Z^{розр.} = Z_i^{max} - Z_{i\,min}^{розр.} = T_i + T_{i-1}.$$

Таким чином, схема III не порушує головне теоретичне положення розмірних ланцюгів і може бути використана у розрахунках.

Разом з тим, і ця розрахункова схема не повністю відображає другу (реальну) схему. Вона дає точні результати для попередніх (i – 1) розмірів, чим сприяє економії матеріалу, але завищує наступні за ходом технологічного процесу (i) розміри на величину T_i. Тому для точних розрахунків розмірів a_i^{min} та a_i^{max} з розрахункових величин $a_{i\,min}^{розр.}$ та $a_{i\,max}^{розр.}$ потрібно відняти по одній величині допуску T_i. У разі розрахунку розмірів для внутрішніх поверхонь (рис. 12.41) аналогічне коректування розрахункових розмірів треба виконувати додаванням однієї величини допуску T_i.

Розрахункова формула для визначення величини $Z_{i\,min}^{розр.}$ залишається без змін:

$$Z_{i\,min}^{розр.} = Z_{i\,min}^{теор.} - 2T_i .$$

Наведена методика у повному обсязі повинна використовуватися лише у великосерійному та масовому виробництві. В інших типах виробництва може бути використаний її наближений варіант. За величину Z_i^{min} можна приблизно прийняти суму $(R_z + h)_{i-1}$ або тільки $R_{Z_{i-1}}$. Інколи при відносно невеликих програмах випуску деталей в розрахунках допустиме застосування табличних значень мінімальних припусків на обробку Z_i^{min} без складного коректування розрахункових розмірів.

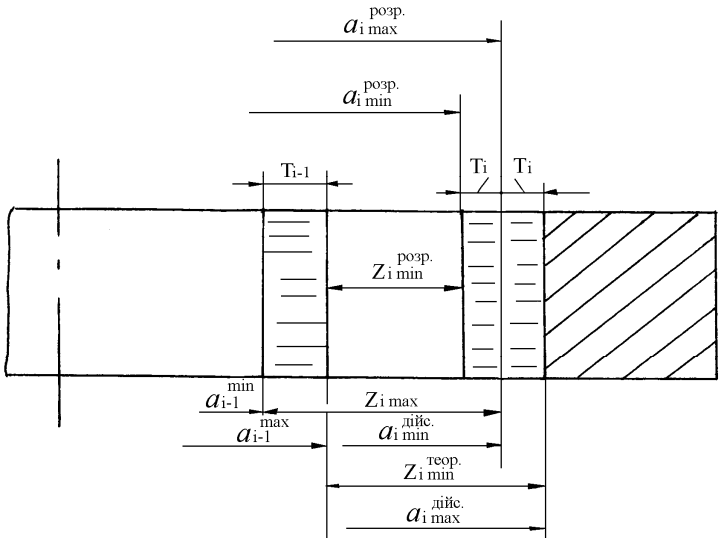


Рис. 12.41. Розрахункова схема для внутрішніх поверхонь типу отворів

б) *Розрахунок граничних значень припусків на операцію*

Граничне значення припуску на операцію розраховують досить просто, якщо його визначають за двома суміжними розмірами, що складають триланковий розмірний ланцюг. Якщо ж припуск на якусь поверхню визначають за декількома операційними розмірами, його розраховують за допомогою виявлення і побудови відповідного ланцюга.

Алгоритм розрахунку граничних значень припусків на операцію [3]

1. За довідниковими даними чи розрахунково-аналітичним методом встановлюють мінімальний припуск Z_{min}.

2. Складають рівняння розмірного ланцюга відповідно Z_{min}:

$$Z\,min = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}\,i\,min - \sum_{n+1}^{m-1} \bar{A}\,q\,max ,$$

де $\vec{A}\,i\,min$ – найменший граничний розмір збільшуючої ланки розмірного ланцюга;

$\bar{A}\,q\,max$ – найбільший граничний розмір зменшуючої ланки розмірного ланцюга;

n – число збільшуючих ланок;

m – число всіх ланок розмірного ланцюга.

3. Визначають розмір шуканої розмірної ланки.

Якщо шуканий технологічний розмір є зменшуючою ланкою, використовують

формулу

$$\overleftarrow{A}_x \max = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}_i \max - \sum_{n+1}^{m-2} \overleftarrow{A}_q \max - Z \min ,$$

якщо ж шуканий розмір є збільшуючою ланкою, то:

$$\vec{A}_x \min = Z \min - \sum_{i=1}^{n-1} \vec{A}_i \min + \sum_{n+1}^{m-1} \overleftarrow{A}_q \max .$$

4. Встановлюють допуск T_{Ax} в залежності від виду технологічного переходу (чорнова або чистова обробка). Для чорнової обробки звичайно рекомендується задавати допуск за 12-м чи 14-м квалітетами, для чистової обробки – за 11-м квалітетом точності.

5. В залежності від виду розміру (охоплюючий, охоплюваний тощо) задають граничні відхилення відповідно за посадками h, H чи Is.

6. Визначають номінальний розмір A_x за однією з формул:

$$\overleftarrow{A}_x = A_x \max - \Delta b_{Ax} ;$$

$$\vec{A}_x = A_x \min - \Delta н_{Ax} .$$

7. Розраховують номінальний розмір припуску:

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}_i - \sum_{n+1}^{m-1} \overleftarrow{A}_i .$$

8. Визначають граничні відхилення розміру припуску:

$$\Delta b_z = \sum_{i=1}^{n} \Delta \vec{b}_{Ai} - \sum_{n+1}^{m-1} \Delta \overleftarrow{н}_{Ai} ; \qquad (12.7)$$

$$\Delta н_z = \sum_{i=1}^{n} \Delta \vec{н}_{Ai} - \sum_{n+1}^{m-1} \Delta \overleftarrow{b}_{Ai} . \qquad (12.8)$$

9. Якщо за відповідними стандартами на вихідні заготовки чи за довідниковими даними вже вибрані номінальні значення припусків на проміжні розміри (замість мінімальних), то в цьому випадку складають рівняння відносно номінального розміру припуску Z:

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \vec{A}_i - \sum_{n+1}^{m-1} \overleftarrow{A}_i . \qquad (12.9)$$

10. З рівняння (12.9) визначають номінальний розмір шуканої ланки.

11. Задають допуски і граничні відхилення шуканої ланки.

12. Визначають граничні відхилення розміру припуску за формулами (2.7) та (2.8), його мінімальне і максимальне значення.

13. Якщо номінальний розмір припуску буде менший одиниці, то мінімальний припуск може дорівнювати нулю чи бути меншим від нуля. В цьому випадку необхідно виконувати коригування номінального розміру припуску, перш ніж вибирати його за довідником. Щоб виключити можливість одержання $Z_{min} \le 0$, найкраще вибрати з довідника і при розрахунках користуватись Z_{min}, а не номінальним значенням припуску Z.

в) *Розрахунок технологічних розмірів та їх граничних відхилень*

Якщо замикальною ланкою розмірного ланцюга є конструкторський розмір, то розрахунок такого розмірного ланцюга зводиться до визначення номінального розміру, допуску і граничних відхилень шуканого розміру складової ланки за відомими значеннями номінальних розмірів допусків і граничних відхилень замикальної та складових ланок розмірного ланцюга.

Алгоритм розрахунку

1. Складають рівняння розмірного ланцюга:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} C_i A_i \ . \qquad (12.10)$$

2. Виходячи з рівняння (12.10), визначають номінал $A_т$ шуканого технологічного розміру.

Якщо шукана ланка є збільшуючою, то:

$$\vec{A}_т = \sum_{n+1}^{m-1} \overleftarrow{A}_i - \sum_{i=1}^{n-1} \vec{A}_i + A_{\Delta}.$$

Якщо шукана ланка є зменшувальною, то:

$$\overleftarrow{A}_т = \sum_{i+1}^{n} \vec{A}_i - \sum_{n+1}^{m-2} \overleftarrow{A}_i - A_{\Delta}.$$

3. Визначають допуск, з яким повинен бути витриманий шуканий технологічний розмір, з умови забезпечення безпосередньо не витримуваного креслярського розміру (замикального в технологічному розмірному ланцюгу):

$$T_{AT} = T_{A\Delta} - \sum_{i=1}^{m-2} T_{Ai}.$$

Якщо допуск на певну складову ланку невідомий, його задають таким, що дорівнює похибці методу обробки, за допомогою якого він одержується. Поле допуску направляють у "+" для охоплюючих, у "-" – для охоплюваних поверхонь, симетрично – для інших розмірів.

4. Перевіряють відповідність знайденого допуску шуканого технологічного розміру економічній точності методу обробки, який використовують для одержання цього розміру, тобто перевіряють можливість виконання технологічного розміру із знайденим допуском:

$$T_{AT} \geq \Delta_M. \qquad (12.11)$$

Якщо умова (12.11) виконується, то розв'язання задачі доводять до кінця.

Якщо $T_{AT} \geq \Delta$, можливі такі шляхи:

4.1. Зменшити допуски на інші складові ланки, застосувавши точніший метод обробки. Допуски зменшують із врахуванням розмірних інтервалів та економічної точності прийнятих методів обробки на операціях, де одержують відомі складові ланки.

4.2. Перебудувати технологічний процес зі скороченням числа ланок ланцюга аж до виконання креслярського розміру безпосередньо.

4.3. Одночасно обробляти поверхні, наприклад, набором фрез, різцевим блоком тощо.

4.4. При заданих розмірах програми випуску, наприклад, при одиночному і дрібносерійному виробництвах, відмовитись від роботи на налагодженому верстаті і працювати за промірами (методом індивідуального одержання розмірів).

5. Визначають верхнє та нижнє відхилення шуканого технологічного розміру, виходячи з рівнянь:

$$\Delta o_{A\Delta} = \sum_{i=1}^{n} \Delta \vec{o}_{Ai} - \sum_{n+1}^{m-1} \Delta \overleftarrow{o}_{Ai};$$

$$\Delta b_{AT} = \Delta o_{AT} + 0{,}5T_{AT};$$

$$\Delta н_{AT} = \Delta o_{AT} - 0{,}5T_{AT}.$$

6. Перевіряють правильність розв'язку. Повинні виконуватись дві умови:

$$\Delta b_{AT} > \Delta н_{AT};$$

$$T_{AA} = \sum_{i=1}^{m-1} T_{Ai}.$$

Розрахунок розмірних ланцюгів відносних поворотів виконується за формулами для розрахунку лінійних розмірних ланцюгів. Оскільки допуски у більшості випадків симетричні, немає необхідності в розрахунку верхнього та нижнього граничних відхилень.

Якщо ланки задані в лінійних відносних одиницях, то перед розрахунком необхідно допустимі відхилення для всіх ланок привести до однієї базової довжини. За таку звичайно приймається базова довжина шуканої ланки.

Потім відкидається знаменник, і розрахунки ведуть тільки за відхиленням, вказаним у чисельнику, які розглядаються як граничні відхилення лінійних розмірів.

Знайдені значення граничних відхилень у лінійних одиницях переводять у відносні, вказуючи в чисельнику одержане граничне відхилення, а в знаменнику – базову довжину.

Приклад розмірного аналізу технологічного процесу виготовлення втулки (рис. 12.42)

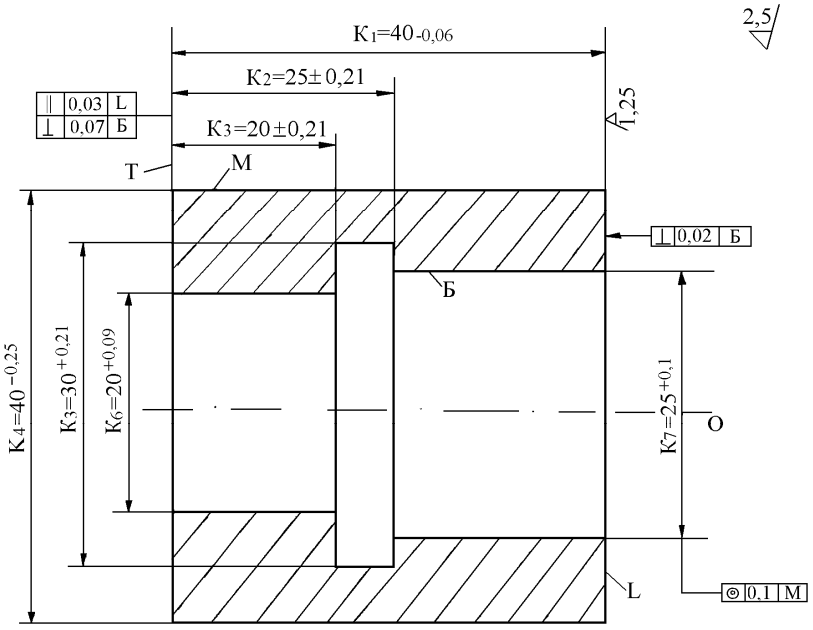


Рис. 12.42. Креслення деталі (втулка)

а) Аналіз поздовжніх розмірів

Для втулки прийнята заготовка – гаряча штамповка (рис. 12.43). Допуски і граничні відхилення на розміри A_{03} і A_{01} штамповані поковки прийняті такі, мм: T_{03} = 2,0; ΔbA_{03} = +0,7; $\Delta нA_{03}$ = -1,3; T_{A01} = 2; ΔbA_{01} = +0,7; $\Delta нA_{01}$ = -1,3.

Технологічний процес механічної обробки наведено в табл. 12.19.

Треба виявити розмірні ланцюги і розрахувати значення технологічних розмірів

A_i і розміри заготовки A_{oi}.

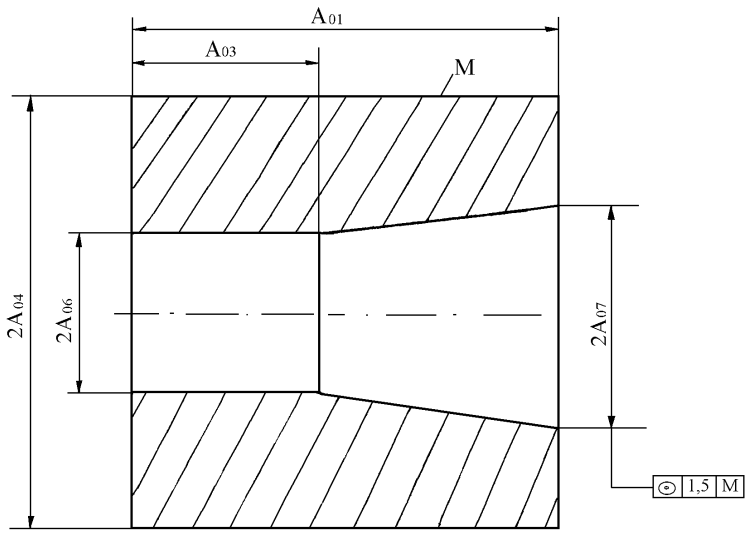


Рис. 12.43. Креслення заготовки

В розрахунках прийняті такі номінальні значення припусків, мм: $Z_{05.1} = 1,6$; $Z_{05.2} = 0,7$; $Z_{10.1} = 1,3$; $Z_{10.2} = 0,7$; $Z_{15.1} = 0,3$. Призначені допуски на технологічні розміри $A_{05.1}$, $A_{10.1}$ за 12-м квалітетом, а на технологічні розміри $A_{05.2}$ і $A_{10.2}$ – за 11-м квалітетом точності.

Розв'язання

Схему розмірного аналізу поздовжніх розмірів втулки показано на рис. 12.44.

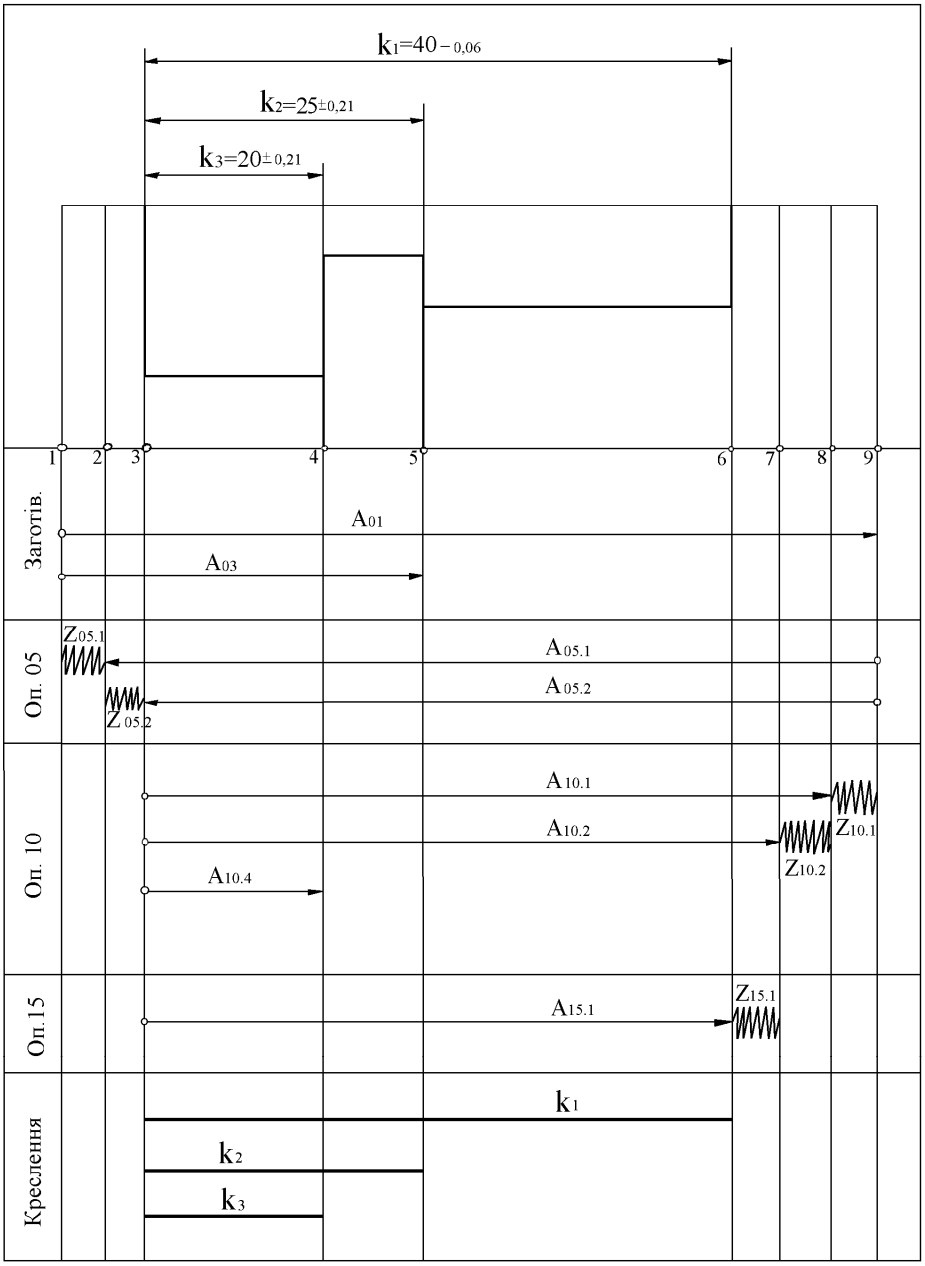


Рис. 12.44. Схема розмірного аналізу поздовжніх розмірів втулки

Суміщений граф технологічних розмірних ланцюгів і схеми розмірних ланцюгів зображено на рис. 12.46 і рис. 12.45.

Розрахунок технологічних розмірів зведено в табл. 12.20.

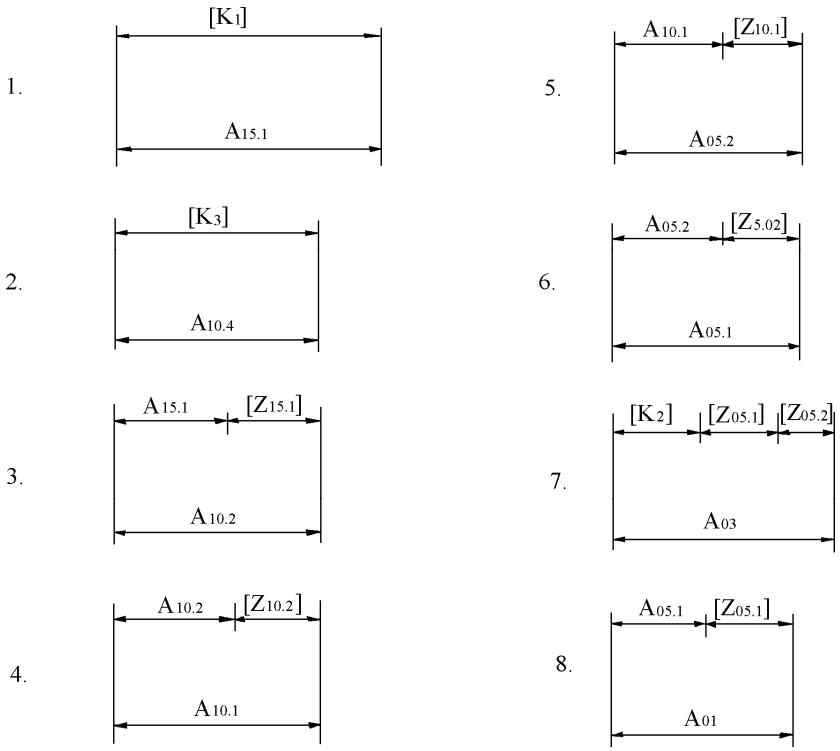


Рис. 12.45. Схеми розмірних ланцюгів поздовжніх розмірів втулки

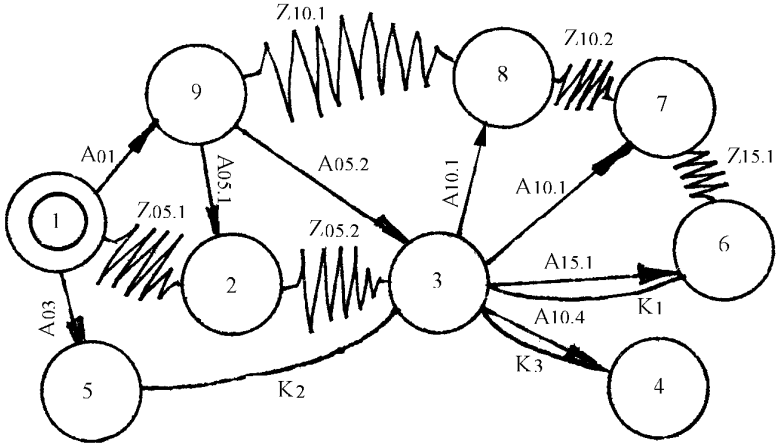


Рис. 12.46. Граф-дерево поздовжніх розмірів втулки

б) Аналіз радіальних розмірів

Схему розмірного аналізу радіальних розмірів втулки наведено на рис. 12.47.

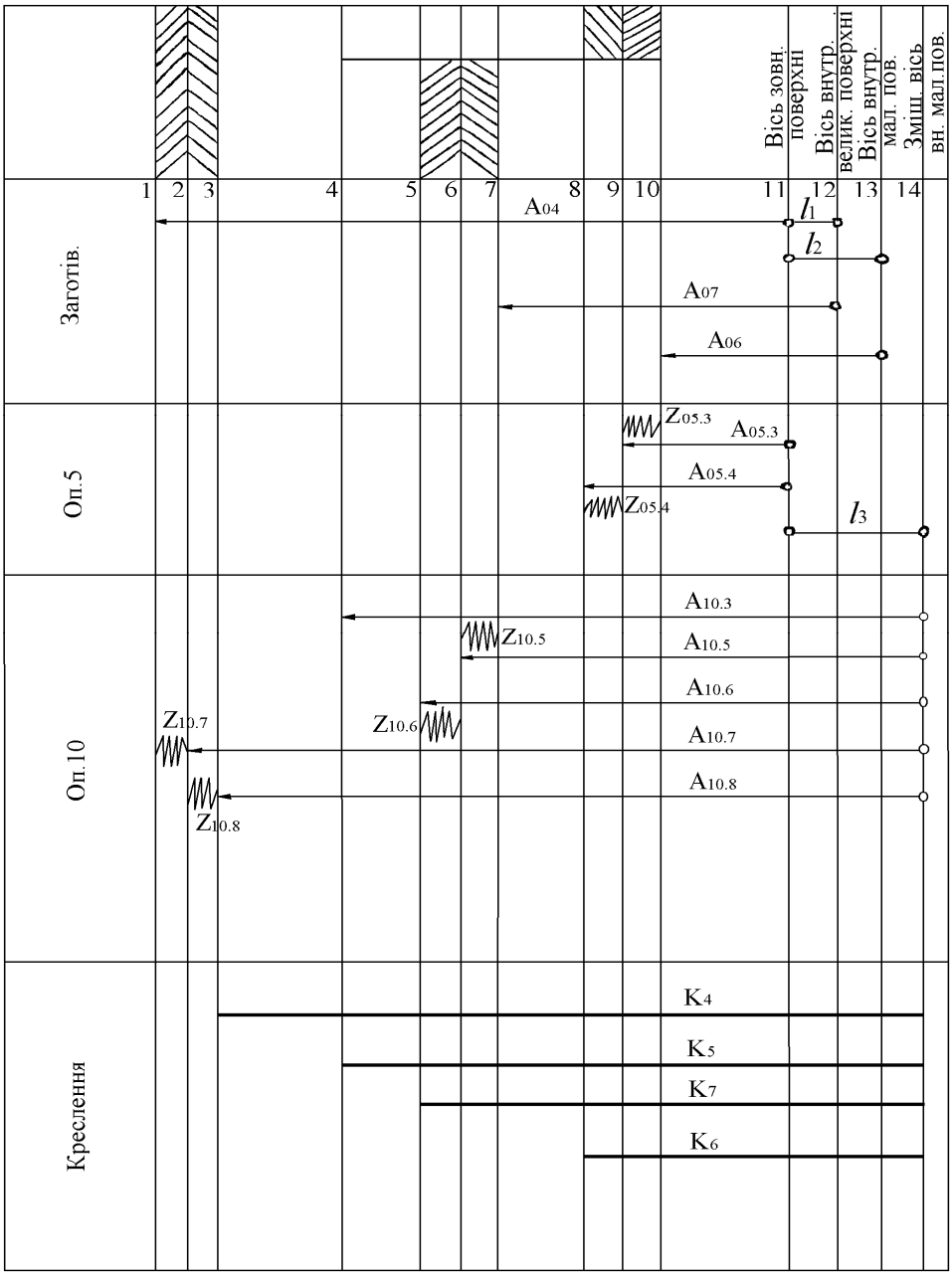


Рис. 12.47. Схема розмірного аналізу радіальних розмірів втулки

Виявлені схеми розмірних ланцюгів радіальних розмірів втулки наведені на рис. 12.48.

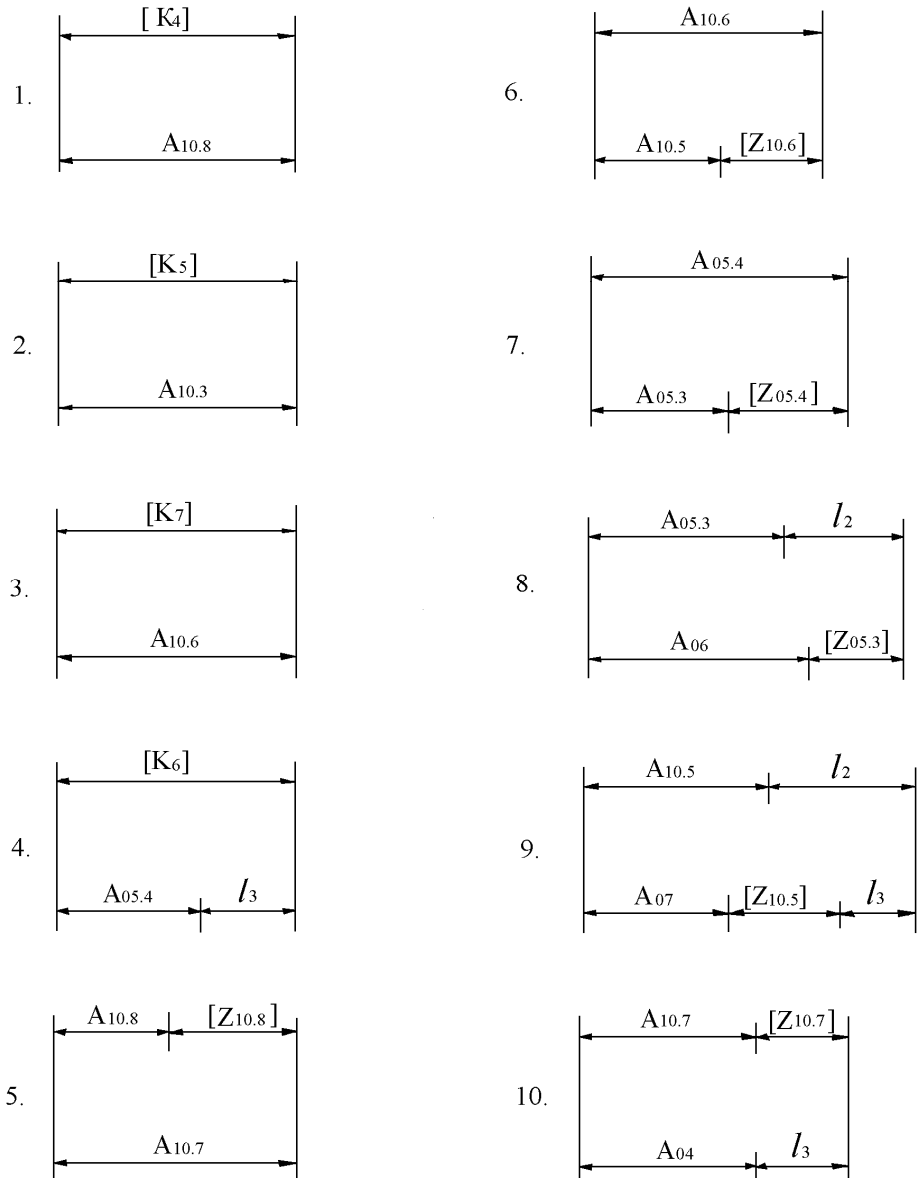


Рис. 12.48 Схеми розмірних ланцюгів радіальних розмірів втулки

Суміщений граф-дерево радіальних розмірів втулки і рівняння для розрахунку технологічних розмірів втулки у радіальному напрямку зображено на рис. 12.49.

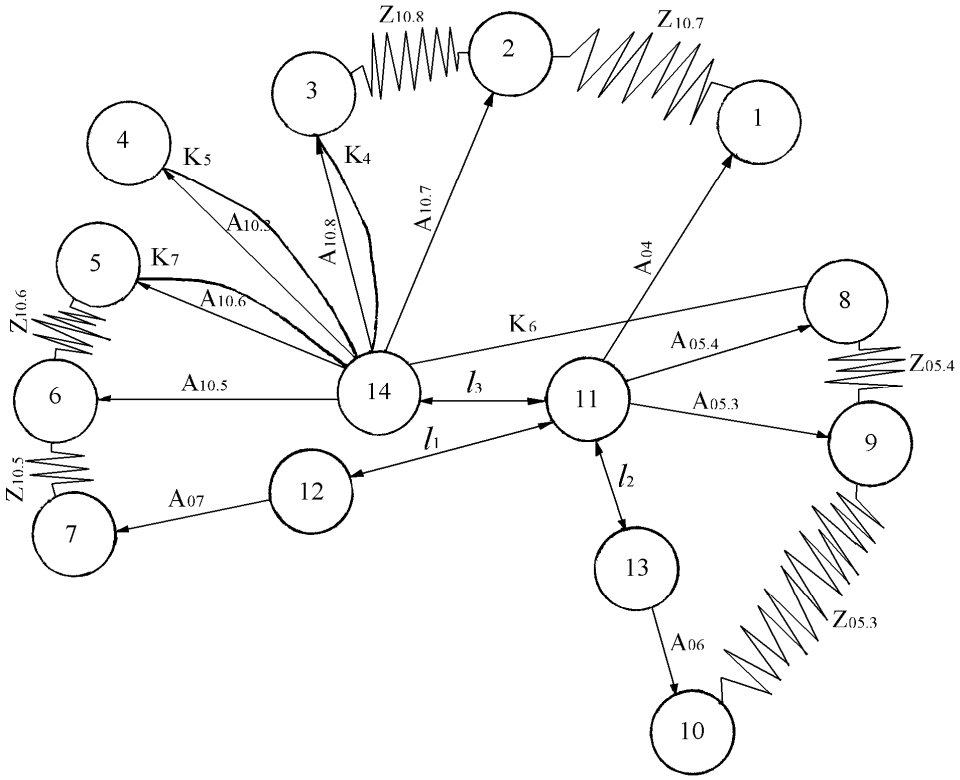


Рис. 12.49. Граф-дерево радіальних розмірів втулки

Рівняння для розрахунку технологічних розмірів втулки у радіальному напрямку:

1. $A_{10.8} = K_4$
2. $A_{10.3} = K_5$
3. $A_{10.6} = K_7$
4. $A_{05.4} = K_6 - l_3$
5. $A_{10.7} = A_{10.8} + Z_{10.8}$
6. $A_{10.5} = A_{10.6} - Z_{10.6}$
7. $A_{05.3} = A_{05.4} - Z_{05.4}$
8. $A_{06} = A_{05.3} + l_2 - Z_{05.3}$
9. $A_{07} = A_{10.5} - Z_{10.5} - l_3 + l_2$
10. $A_{04} = A_{10.7} - l_3 + Z_{10.7}$

Примітка. Граничні розміри припусків і операційних розмірів у радіальному напрямку в даному прикладі не розраховувалися.

Розмірна схема відхилень розташування поверхонь втулки та рівняння для розрахунку відхилень наведені на рис. 12.50.

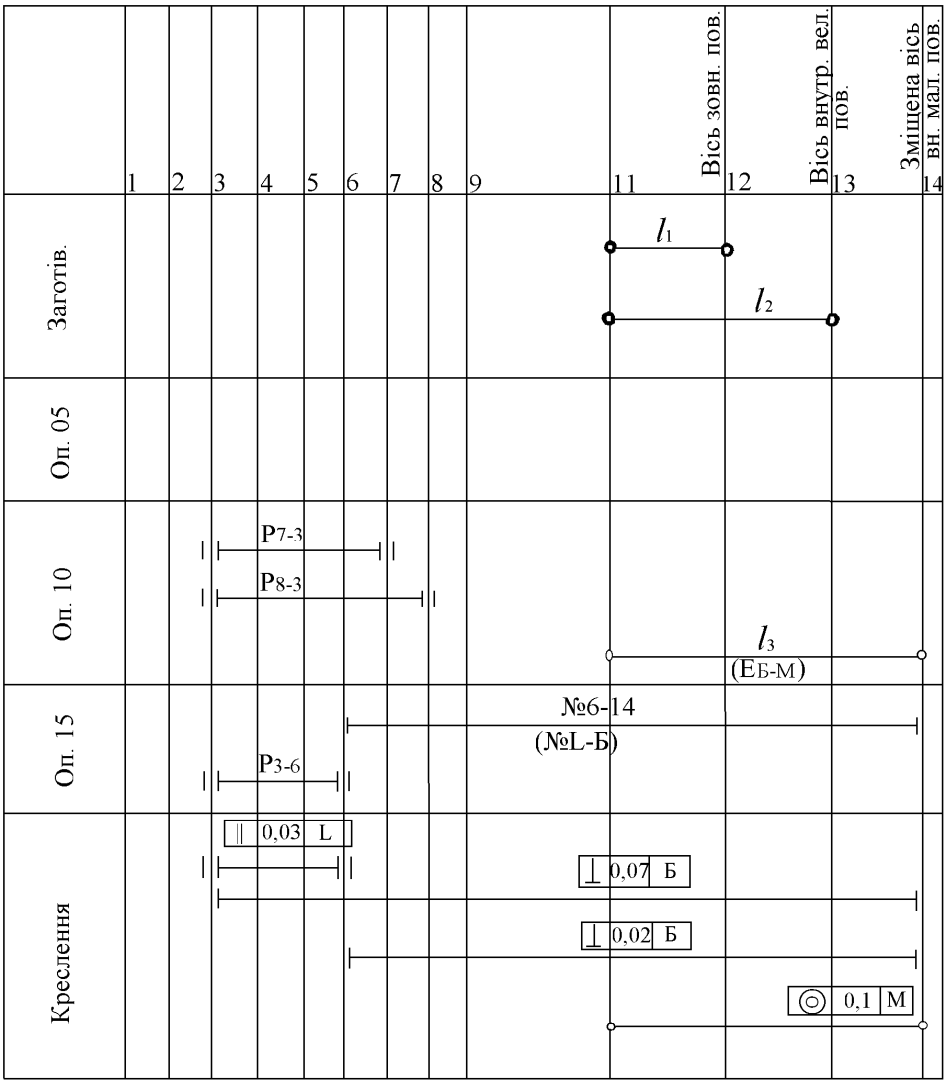


Рис. 12.50 Розмірна схема відхилень розташування поверхонь

Рівняння для розрахунку відхилень:

0,03 Б = Р3-6

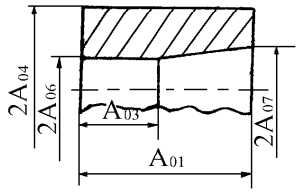
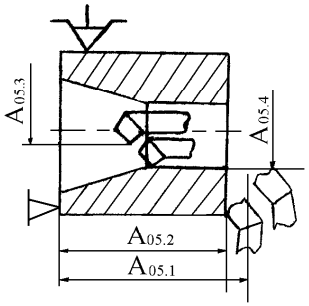
0,07 Б = №6-14+Р3 -6

0,02 Б =№6-14

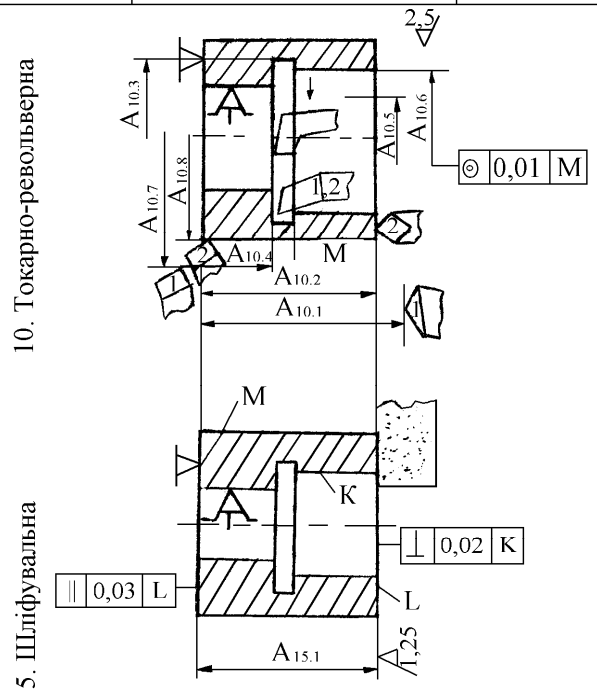
0,1 М = l_3

Таблиця 12.19

Технологічний маршрут виготовлення деталі (втулка)

Операції	Ескіз	Технологічні переходи
0. Заготівельна		
05. Токарно-револьверна	2,5 	1. Підрізати торець Т за два проходи, витримуючи розміри: A05.1; A05.2; Ra 2,5. 2. Розточити внутрішній малий діаметр наскрізь за два проходи, витримуючи розміри A05.3; A05.4; Ra 2,5.

Закінчення табл. 12.19

Операції	Ескіз	Технологічні переходи
10. Токарно-револьверна		1. Підрізати торець L за два проходи, витримуючи розміри $A_{10.1}$; $A_{10.2}$; $P_{8\text{-}3}$; $P_{7\text{-}3}$; Ra 2,5. 2. Прорізати канавку для виходу різця радіальною подачею, витримуючи розміри $A_{10.3}$; $A_{10.4}$; Ra 2,5. 3. Розточити внутрішній великий діаметр за два проходи, витримуючи розміри $A_{10.5}$; $A_{10.6}$; Ra 2,5. 4. Проточити зовнішній діаметр за два проходи, витримуючи розміри $A_{10.7}$; $A_{10.8}$ та симетричність $E_{Б\text{-}M}$.
15. Шліфувальна		1. Шліфувати торець L, витримуючи розміри $P_{3\text{-}6}$; № L-Б; Ra 1,25; $A_{15.1}$.

Таблиця 12.20

Розрахунок технологічних поздовжних розмірів втулки

Вихідні розміри		Розміри, що визначаються				
позначення	величини	розрахункове рівняння	номінальний розмір	допуск, мм	технологічний розмір	граничні значення припуску
1	2	3	4	5	6	7
$К_4$	$40_{-0.06}$	$-К_1 + А_{15.1} = 0$	$А_{15.1} = К_1$ $А_{15.1} = 40$	0,06	$А_{15.1} = 40_{-0,06}$	–
$К_3$	$20_{\pm 0,21}$	$-К_3 + А_{10.4} = 0$	$А_{10.4} = К_3$ $А_{10.4} = 20$	0,42	$А_{10.4} = 20_{\pm 0,21}$	–
$Z_{15.1}$	0,3	$-Z_{15} - А_{15.1} + А_{10.2} = 0$	$А_{10.2} = А_{15.1} + Z_{15.1}$ $А_{10.2} = 40 + 0,3 = 40,3$	h11 0,16	$А_{10.2} = 40,3_{-0,16}$	$Z_{15.1} = А_{10.2} - А_{15.1}$ $Z_{15.1} = 40,3_{-0,16} -$ $- 40_{-0,06} = 0,3^{+0,06}_{-0,16}$
$Z_{10.2}$	0,7	$-Z_{10.2} - А_{10.2} + А_{10.1} = 0$	$А_{10.1} = А_{10.2} + Z_{10.2}$ $А_{10.1} = 40,3 + 0,7 = 41$	h12 0,25	$А_{10.1} = 41_{-0,25}$	$Z_{10.2} = А_{10.1} - А_{10.2} =$ $= 41_{-0,25} - 0,3_{-0,16} =$ $= 0,7^{+0,16}_{-0,25}$
$Z_{10.1}$	1,3	$-Z_{10.1} - А_{10.1} + А_{05.2} = 0$	$А_{05.2} = А_{10.1} + Z_{10.1}$ $А_{05.2} = 41 + 1,3 = 42,3$	h12 0,25	$А_{05.2} = 42,3_{-0,25}$	$Z_{10.1} = А_{5.02} - А_{10.1} =$ $= 42,3_{-0,25} - 41_{-0,25} =$ $= 1,3 \pm 0,25$
$Z_{05.2}$	0,7	$-Z_{05.2} - А_{05.2} + А_{05.1} = 0$	$А_{05.1} = А_{05.2} + Z_{05.2}$ $А_{05.1} = 42,3 + 0,7 = 43$	h11 0,16	$А_{05.1} = 43_{-0,16}$	$Z_{05.2} = А_{05.1} - А_{05.2} =$ $43_{-0,16} - 42,3_{-0,25} =$ $= 0,7^{+0,25}_{-0,16}$
$К_2$	$25_{\pm 0,21}$	$-К_2 - Z_{05.1} - Z_{05.2} + А_{03} = 0$	$А_{03} = К_2 + Z_{05.1} + Z_{05.2}$ $А_{03} = 25 + 1,6 + 0,7 =$ $= 27,3$	ВВ $А_{03} =$ $= + 0,7$ НВ $А_{03} =$ $= - 1,3$ 2,0	$А_{03} = 27,3^{+0,7}_{-1,3}$	–
$Z_{05.1}$	1,6	$-Z_{05.1} - А_{05.1} + А_{01} = 0$	$А_{01} = А_{05.1} + Z_{05.1}$ $А_{01} = 43 + 1,6 = 44,6$	ВВ $А_{01} =$ $= + 0,7$ НВ $А_{01} =$ $= - 1,3$ 2,0	$А_{01} = 44,6^{+0,7}_{-1,3}$	$А_{05.1} = А_{01} - А_{05.1} =$ $= 44,6^{+0,7}_{-1,3} - 43_{-0,16} =$ $= 1,6^{+0,86}_{-1,3}$

Приклад розмірного аналізу технологічного процесу виготовлення корпусної деталі (рис.12.51)

Розглянемо особливості побудови комбінованих розмірних схем на прикладі деталі, що зображена на рис. 12.51. Допустимі похибки відносного розташування поверхонь у деталі задані п’ятьма технічними вимогами.

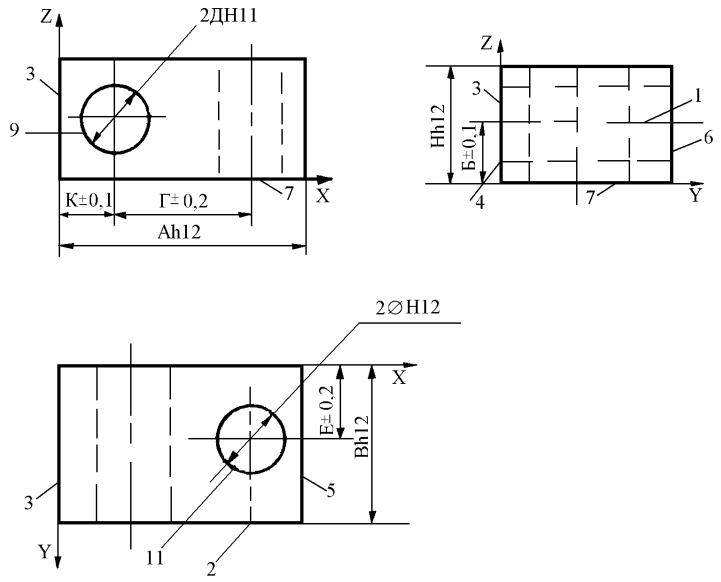


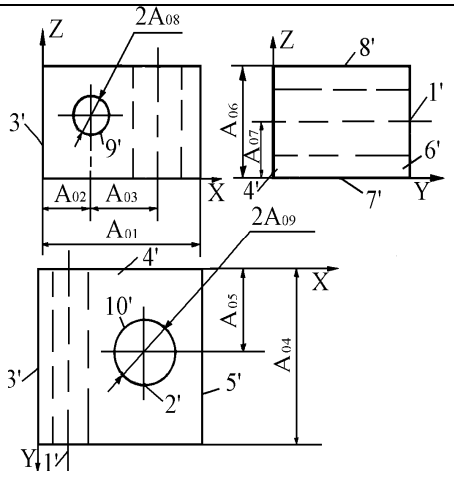
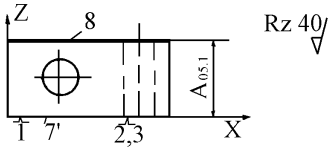
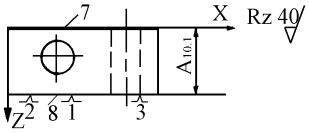
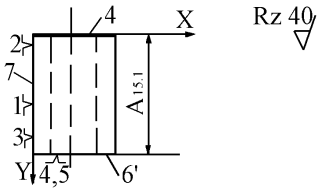
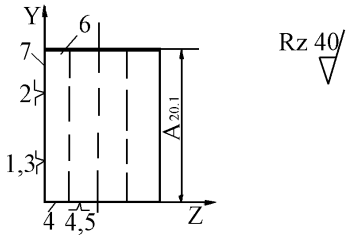
Рис. 12.51. Ескіз корпусної деталі у трьох проекціях:

1 – N 3–7 (XZ) =…; 2 – N 3–4 (XY) = …;
3– N 4–7 (YZ) = …; 4 – N 1–2 (YZ) = …;
5 – P1–7 (XY) = …;

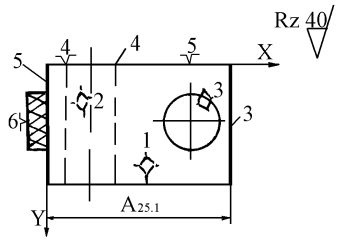
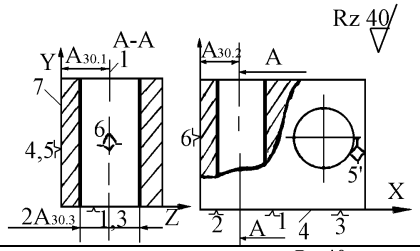
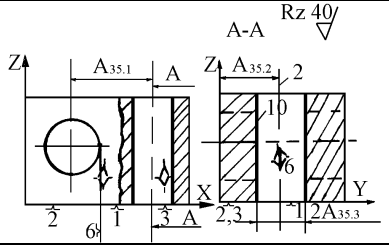
У відповідності з правилом 3 (п. 2.1.4.2) для корпусної деталі серед всіх технічних вимог повинні бути обов’язково задані три технічних вимоги по взаємній перпендикулярності трьох поверхонь (чи осей), які створюють ортогональну систему координат. Оскільки деталь представлена в трьох проекціях, ця умова означає, що в кожній з проекцій повинно бути задано по одній технічній вимозі, які б визначали допустимі відхилення від перпендикулярності. З аналізу креслення видно, що такими вимогами є: на першій проекції N3–7 (XZ), на другій проекції – N3–4 (XY), на третій – N4–7 (YZ). Таким чином, правило 3 для даної конструкції деталі дотримується. Існуючі на кресленні дві додаткові технічні вимоги N1–2 (YZ) і P1–7 (YZ) задані конструктором виходячи зі службового призначення деталі. Індекси YZ дописані до цих технічних вимог у зв’язку з тим, що ці відхилення можуть бути виміряні при розташуванні деталі у третій проекції, тобто в проекції YZ.

Таблиця 12.21

Технологічний маршрут виготовлення корпусної деталі

Операції	Ескіз	Допуски та технологічні вимоги
1	2	3
0 Заготівельна		$(A_{01})^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $(A_{02})^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $(A_{03})^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $(A_{04})^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $(A_{05})^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $(A_{06})^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $(A_{07})^{\Delta в}_{\Delta н}$ = № 3′ – 4′(XY) = № 7′ – 4′(YZ) = № 7′ – 3′(XZ) =
05 Фрезерна		$A_{05.1}^{\Delta в}_{\Delta н}$ = Р 7′ – 8(XZ) = Р 7′ – 8(YZ) =
10 Фрезерна		$A_{10.1}^{\Delta в}_{\Delta н}$ = Р 8 – 7(XZ) = Р 8 – 7(YZ) =
15 Фрезерна		$A_{15.1}^{\Delta в}_{\Delta н}$ = № 4 – 7(YZ) = Р 4 – 6′(XZ) =
20 Фрезерна		$A_{20.1}^{\Delta в}_{\Delta н}$ = № 6 – 7(YZ) = Р 6 – 4(XY) =

Закінчення табл. 12.21

25 Фрезерна		$A_{25.1}\ ^{\Delta в}_{\Delta н}$ = № 5 – 7(XZ) = № 5 – 4(XY) = Р 3 – 5(XZ) = Р 3 – 5(XY) =
30 Розточувальна		$A_{30.1}\ ^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $A_{30.2}\ ^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $A_{30.3}\ ^{\Delta в}_{\Delta н}$ = № 1 – 4(XY) = № 1 – 4(YZ) =
35 Розточувальна		$A_{35.1}\ ^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $A_{35.2}\ ^{\Delta в}_{\Delta н}$ = $A_{35.3}\ ^{\Delta в}_{\Delta н}$ = № 2 – 7(YZ) = № 2 – 7(XZ) =

Ескіз заготовки і план обробки деталі наведені в табл. 12.21. Заготовка, як і готова деталь, є тривимірною. Отже, похибки розташування її сторін також, як і у готовій деталі, повинні бути задані трьома технічними вимогами за допустимими відхиленнями від перпендикулярності трьох сторін. Оскільки поверхні заготовки ми позначили тими ж цифрами, що й на деталі, але зі штрихами, то ці технічні вимоги будуть: N3'–4' (XY), N7'–4' (YZ), N7'–3' (XZ).

Технологічний процес виготовлення розглядуваної деталі передбачає однократну обробку кожної поверхні. Як видно з плану (табл. 12.21), положення кожної оброблюваної поверхні регламентується у відповідності з правилами 4 і 5 (п. 2.4.3) двома технічними вимогами: відхиленнями від паралельності чи перпендикулярності. Напрямки вимірювання цих похибок завжди різні (XZ і YZ) чи (YZ і XY), чи (XZ і XY), що також відповідає правилам 4 і 5 (п. 2.4.3).

Крім вимог по допустимих похибках розташування, кожна поверхня, що знову утворюється, зорієнтована (прив'язана) одним розміром. На кожній з цих розмірів задаються верхні Δb і нижні Δн відхилення.

Необхідно звернути увагу на операцію 25 – фрезерування. На даній операції передбачене одночасне створення двох поверхонь 5 і 3, проте розмір в операційному ескізі заданий тільки один $A_{Z5.1.}$ Це пов'язано з тим, що на цій операції використано трохи незвичайний спосіб базування деталі у напрямку осі X. За базу прийнята поверхня 5', яка при фрезеруванні зникає, перетворюючись в нову поверхню 5. Тому розмір, що прив'язує поверхню 5' до поверхні 5, представляє собою шар припуску 5'–5.

При розмірному аналізі ланку 5'–5 необхідно вважати складовою ланкою і призначити на неї відхилення.

Звернемо увагу ще на одну особливість. Вона полягає в тому, заготовка має попередньо пролиті отвори. Осі отворів на заготовці і деталі не збігаються (так закладено планом обробки), тому на розмірній схемі (рис. 12.52, 12.54, 12.56) нанесено як осі отворів заготовки (1'–2'), так і осі отворів деталі (1–2). В розмірних ланцюгах припуск на отвір є замикальною ланкою, а як складові в рівняння обов'язково входять координуючі розміри в двох проекціях. Оскільки допуски на ці розміри можуть бути різними, то розмір отвору на попередній операції при розв'язуванні рівняння розмірних ланцюгів в різних проекціях може дати різний результат. Іншими словами, за результатами розрахунків розмірів отворів однієї з проекцій номінальне значення діаметра отвору на попередньому переході буде меншим, а на другому – більшим. При розв'язанні практичних задач необхідно остаточно призначити менший з отриманих розмірів.

Необхідно вказати також, що і цей прийом може дати похибку при визначенні розмірів отвору на попередній операції, в результаті чого можуть виникнути чорноти, тобто недостатність припуску, за самих несприятливих поєднань похибок, коли обидва координуючих розміри однакові. В цьому випадку величина зміщення осі отвору в 1,4 раза більша, ніж в кожній із проекцій, що розглядаються. Тому для одержання правильного результату необхідно допуски на координуючі розміри при розрахунку розмірних ланцюгів збільшувати в 1,4 раза.

На рис. 12.52 показана розмірна схема для ланок, паралельних осі X (проекція 1). Схема надто проста, оскільки в технологічному процесі передбачене виконання розмірів за один робочий хід і п'ять розмірів (з десяти) виконуються безпосередньо за кресленням деталі. Осі отворів на заготовці і деталі не збігаються, тому як ті, так і інші нанесені на схему. Незбігання осей позначене ланками e_1 і e_2. На рис. 12.53 показані граф-дерево і рівняння для розрахунку технологічних розмірів корпусної деталі у напрямку осі X.

На рис. 12.54 показана розмірна схема для ланок, паралельних осі Y (проекція 2). На рис. 12.55 наведені граф-дерево і рівняння для розрахунку технологічних розмірів корпусної деталі у напрямку осі Y. Схема відрізняється від першої тим, що в розрахунках маємо вісь тільки одного отвору.

На рис. 12.56 показана розмірна схема для ланок, паралельних осі Z (проекція 3). На рис. 12.57 наведені граф-дерево і рівняння для розрахунку технологічних розмірів корпусної деталі у напрямку Z.

Розмірна схема відхилень розташування, що включає в себе відхилення від паралельності та перпендикулярності площин і осей циліндричних поверхонь, складається з паралельних вертикальних ліній, що імітують існуючі у деталі площини і осі по всіх трьох проекціях і розділених проміжками (рис. 12.58).

Допустимі відхилення розташування на кожній операції проставляють у вигляді горизонтальних ліній, що зв'язують відповідні поверхні та осі деталі. Зв'язки, проведені між вертикальними лініями, що лежать в одній проекції, означають відхилення від паралельності, а зв'язки між вертикалями, розташованими в різних проекціях, – відхилення від перпендикулярності. Відхилення від паралельності поверхонь завжди потрібно проставляти двома зв'язками із вказанням перерізів, в яких ці відхилення вимірюють.

Так, в схемі просторових відхилень (рис. 12.58) в операціях 05, 10 і 25 проставлено по два зв'язки між площинами: Р7′–8 (XZ) – допуск паралельності площин 7′ і 8 в перерізі, паралельному площині XZ; Р7′–8 (YZ) – допуск паралельності цих же поверхонь в перерізі, паралельному площині YZ; Р7–8 (XZ) –

допуск паралельності площин 7 і 8 в перерізі XZ; Р7–8 (YZ) – допуск паралельності площин 7 і 8 в перерізі YZ і т.д.

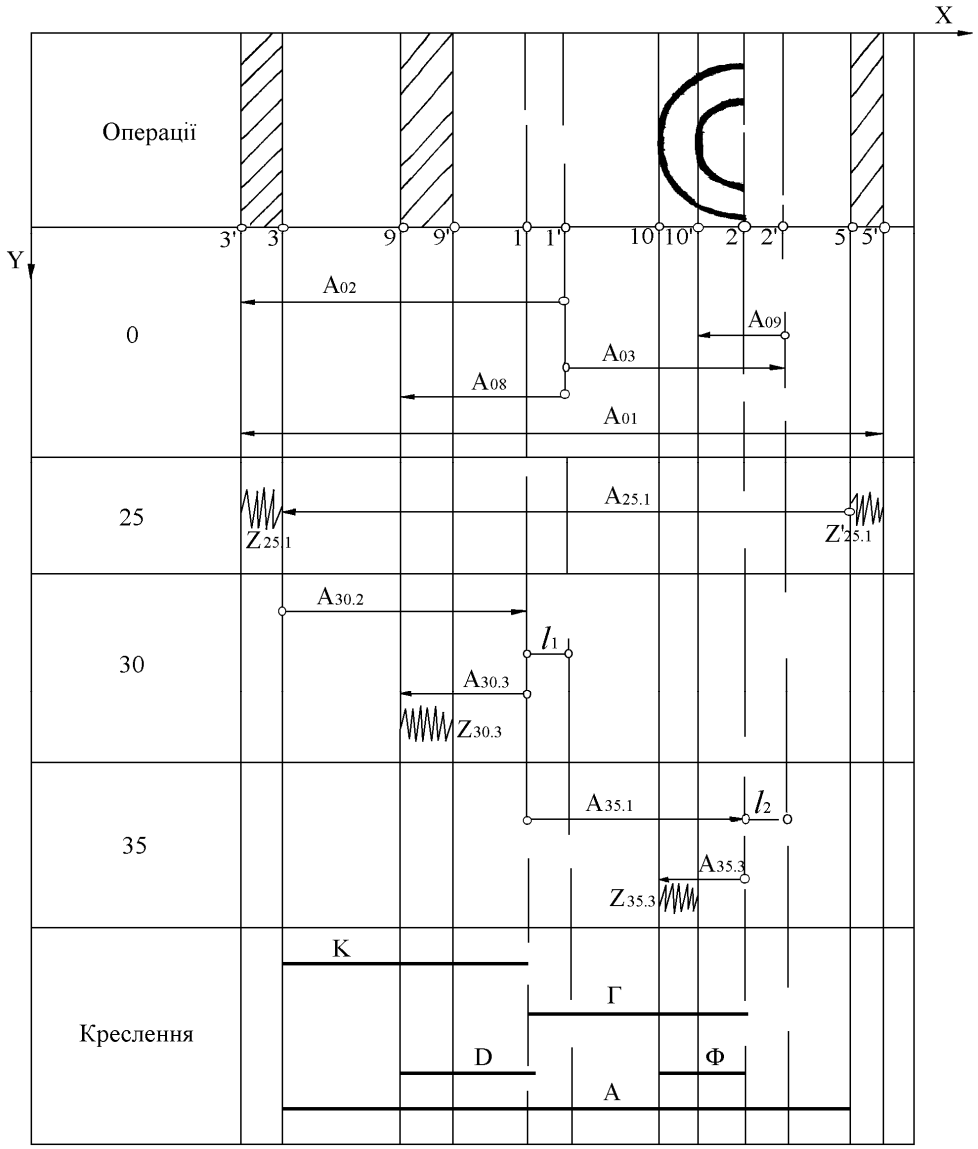
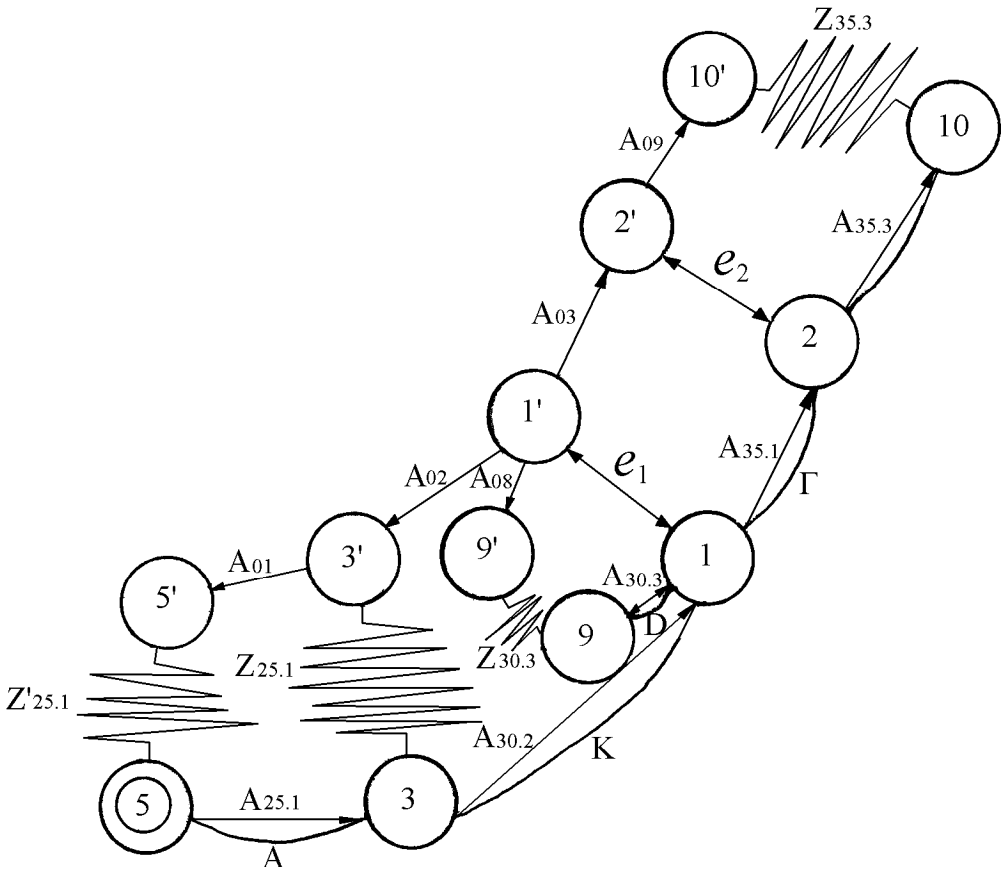


Рис. 12.52. Розмірна схема у напрямку осі Y



1) $A_{25.1}$ = А
2) $A_{30.2}$ = К
3) $A_{30.3}$ = D
4) $A_{35.3}$ = Ф
5) $A_{35.1}$ = Г
6) $A_{03} = Г + e_1 + e_2$
7) $A_{09} = A_{35.3} – Z_{35.3} + e_2$
8) $A_{02} = A_{30.2} + Z_{25.1} + e_1$
9) $A_{08} = A_{30.3} – Z_{30.3} + e_1$
10) $A_{01} = A_{25.1} + Z_{25.1} + Z'_{25.1}$

Рис. 12.53. Граф-дерево у напрямку X і рівняння для визначення технологічних розмірів корпусної деталі

Для позначення допуску паралельності осі отвору 1 відносно площини 4 в будь-якому напрямку в схемі просторових відхилень також повинно бути показано два зв'язки: N1–4 (XY) – допуск перпендикулярності осі отвору 1 відносно площини 4 в перерізі, паралельному площині XY; N4–1 (YZ) – допуск перпендикулярності цієї ж осі отвору 1 до площини 4 в перерізі YZ.

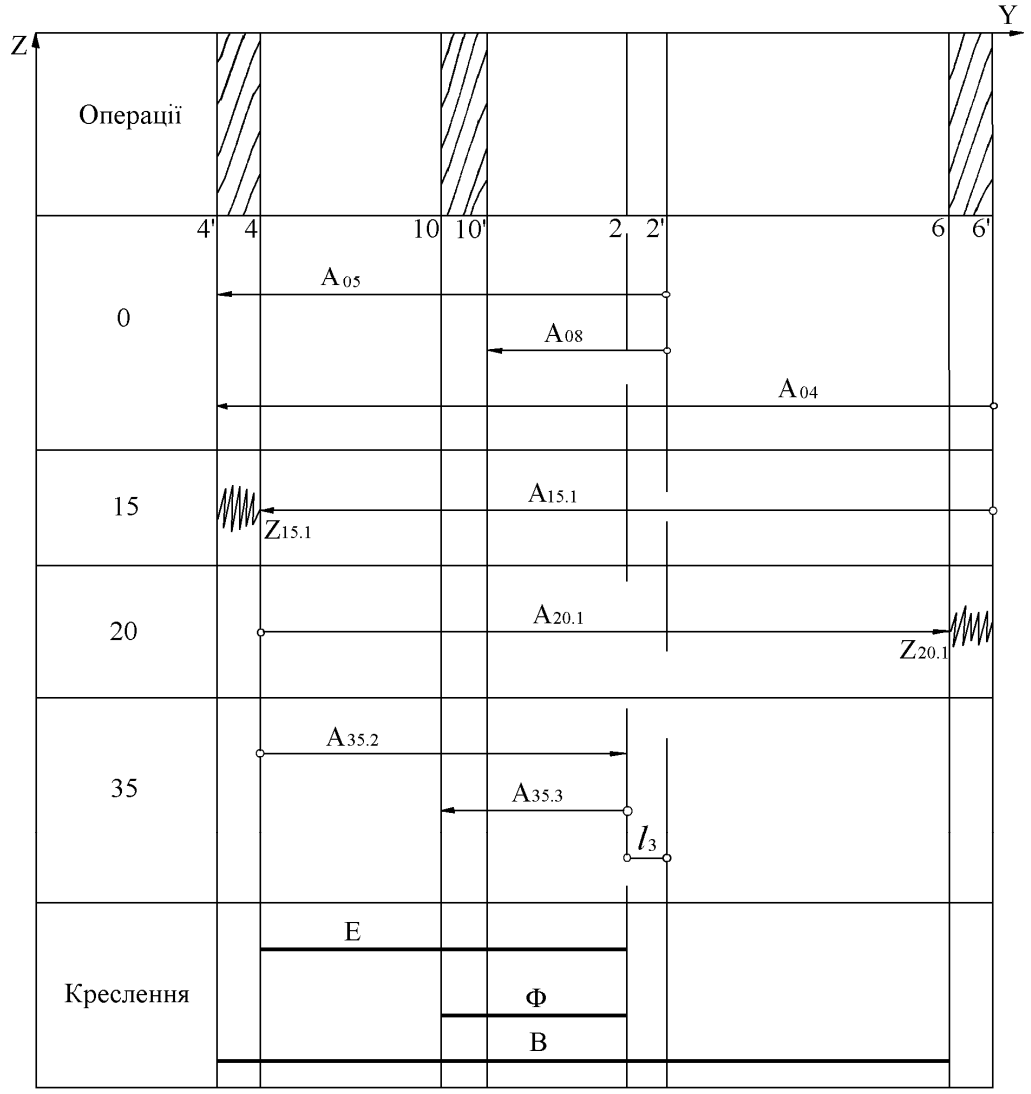
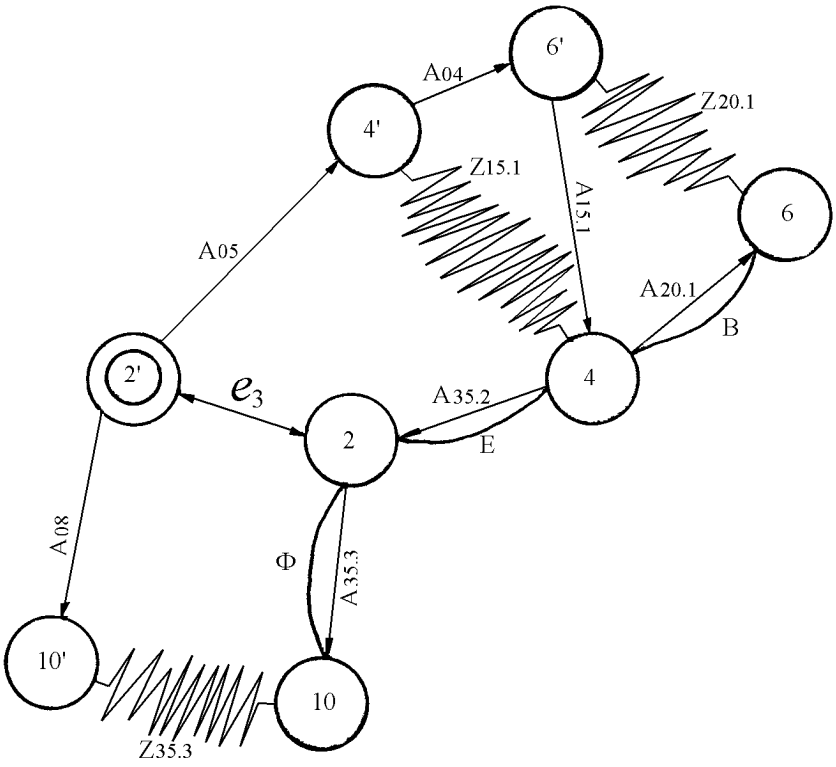


Рис. 12.54. Розмірна схема у напрямку осі Y

Необхідно відмітити, що вказані вище зв'язки повинні бути проведені від вертикалі, що імітує площину 4, до вертикалі, що позначає вісь отвору 1, в різних проекціях.

Для виявлення складових ланок ланцюга, в якому шукана похибка є замикальною ланкою, обхід розмірного контуру необхідно виконувати тільки по зв'язках, проставлених в тому ж напрямку, в якому визначається шукана похибка. В контур розмірного ланцюга включають розміри, які мають тільки однакові індекси напрямку.



1) $A_{35.3} = Ф$
2) $A_{35.2} = E$
3) $A_{20.1} = B$
4) $A_{08} = A_{35.3} + e_3 - Z_{35.3}$
5) $A_{05} = A_{35.2} + e_3 + Z_{15.1}$
6) $A_{15.1} = A_{20.1} + Z_{20.1}$
7) $A_{04} = A_{15.1} + Z_{15.1}$

Рис. 12.55. Граф-дерево у напрямку Y і рівняння для визначення технологічних розмірів корпусної деталі

Для визначення відхилення від перпендикулярності осей отворів деталі, що розглядається, може бути прийнятим тільки один ланцюг:

$$[N2 - 1(YZ)] = [N4 - 1(YZ) + N4 - 7(YZ) + N2 - 7(YZ)].$$

Рівняння для визначення інших параметрів розташування наведені на рис. 12.58.

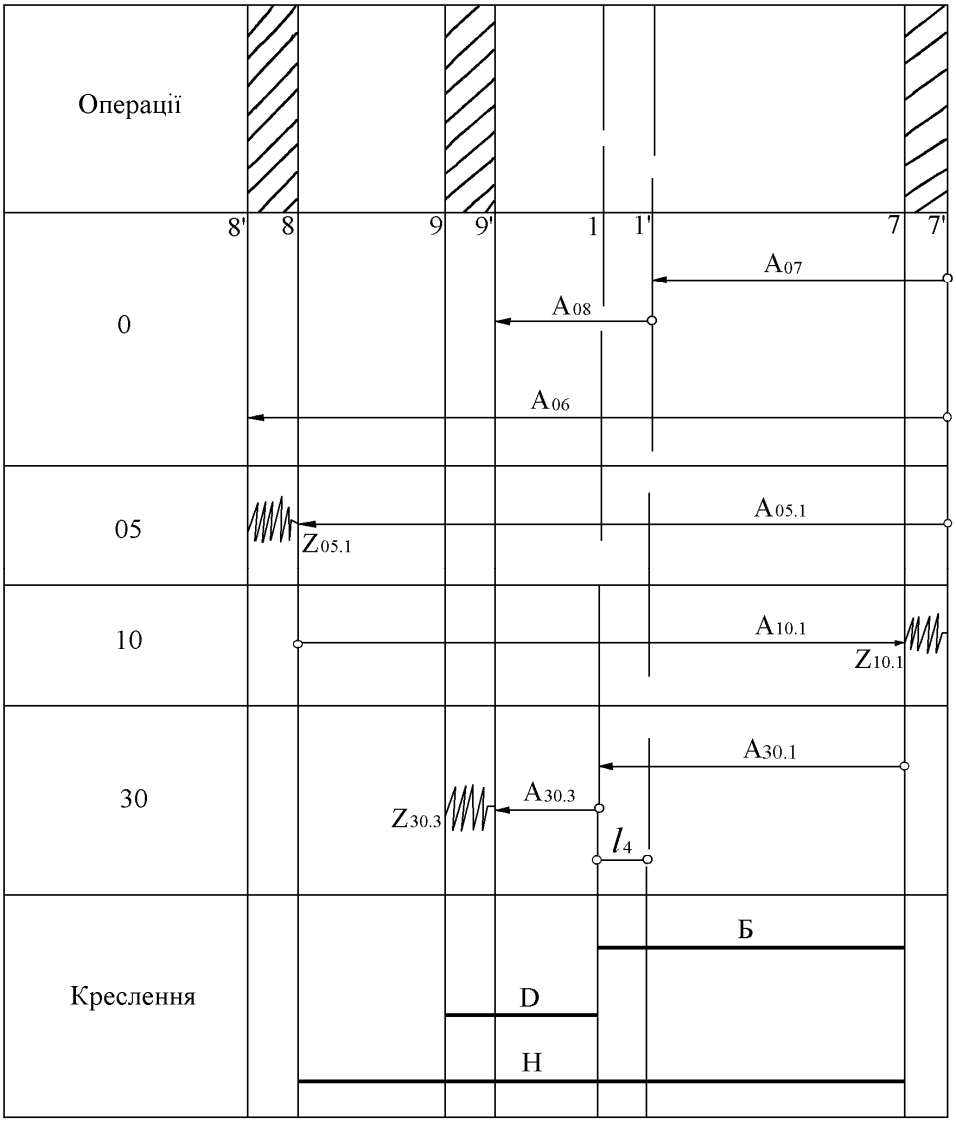
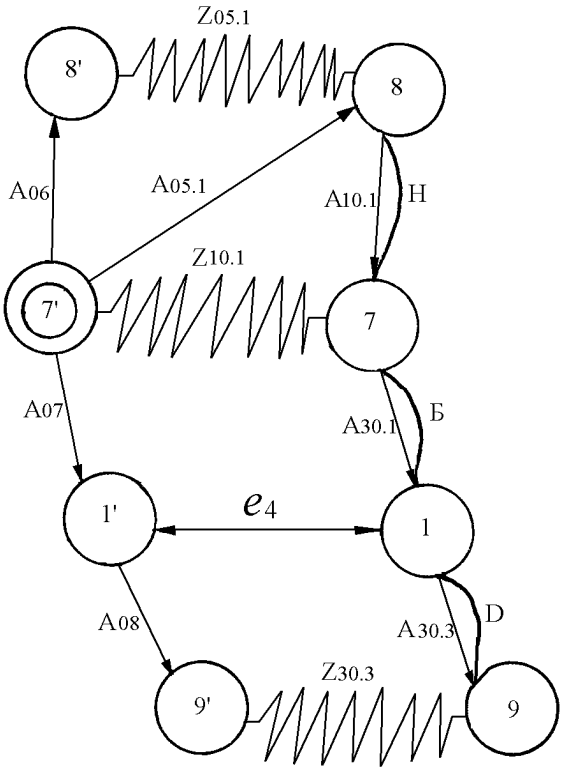


Рис. 12.56. Розмірна схема у напрямку осі Z



1) $A_{30.1}$ = Б
2) $A_{30.3}$ = D
3) $A_{10.1}$ = H
4) $A_{05.1} = A_{10.1} + Z_{10.1}$
5) $A_{06} = A_{05.1} + Z_{05.1}$
6) $A_{08} = A_{30.3} + e_4 - Z_{30.3}$
7) $A_{07} = A_{30.1} + e_4 + Z_{10.1}$

Рис. 12.57. Граф-дерево у напрямку Z і рівняння для визначення технологічних розмірів корпусної деталі

Розробка креслення заготовки

Після попереднього вибору одного–трьох способів виготовлення заготовок на основі “матриці впливу факторів” переходять до проектування заготовки, яка буде виготовлятись вибраним методом.

Головним при проектуванні заготовки є розрахунок припусків, який можна зробити приблизним табличним методом, виходячи з вибраного способу отримання заготовки і користуючись таблицями державних стандартів, або аналітично-розрахунковим методом на основі розмірного аналізу і розрахунку операційних припусків. Цей метод запропонований в даному методичному посібнику і виконаний в п. п. 2.4.2 та 2.4.5.8.

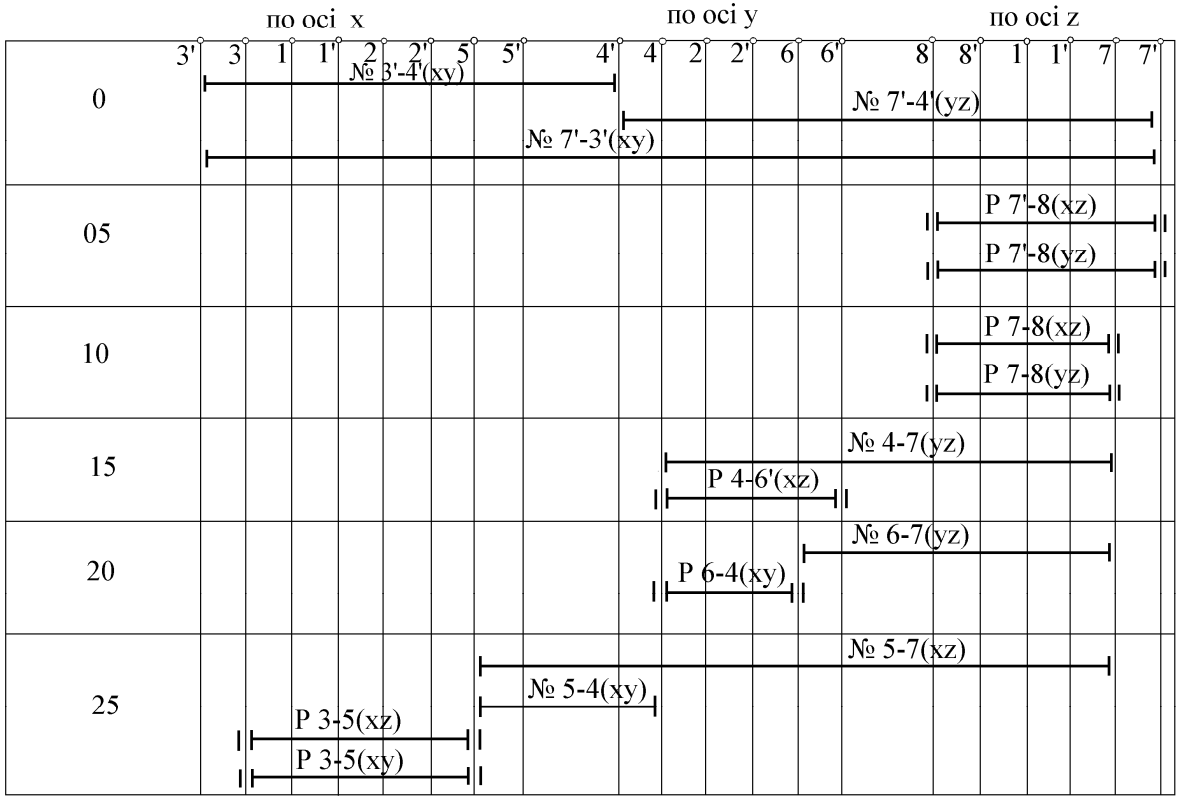
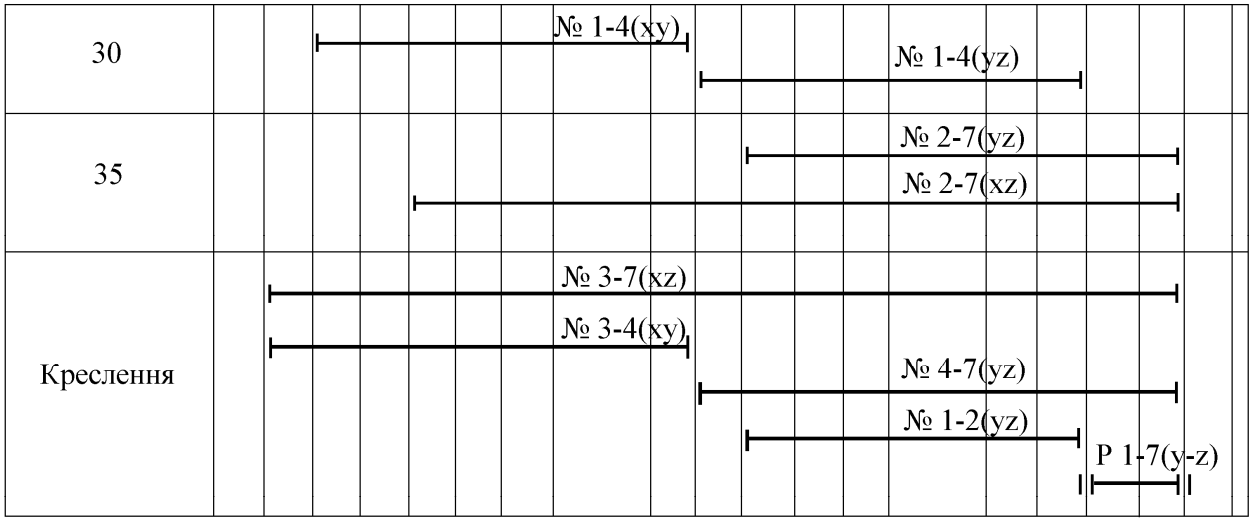


Рис. 12.58. Схема відхилень розташування поверхонь та рівняння для визначення їх величини



Визначення відхилення від перпендикулярності осей отворів:
1) [№2-1(yz)=[№4-1(yz)+№4-7(yz)+№2-7(yz)];
Визначення інших параметрів технічних умов заданих кресленням:
2) [№3-7(xz)=[№3-7(xy)+№3-5(xz)]; 4) [№4 -7(yz)]=[№4-7(yz)]
3) [№3-4(xy)=[№5-4(xy)+P3-5(xy)]; 5) [P1-7(yz)=[№4-7(yz)+№1-4(yz)]

Рис. 12.58. Схема відхилень розташування поверхонь та рівняння для визначення їх величини

На основі розрахункових припусків, допусків та виконавчих розмірів можна оформляти креслення заготовки. Розрахункові допуски уточнюють відповідно до стандартних на той чи інший метод отримання заготовки.

Найчастіше в дипломних проектах застосовують заготовки, які виробляють литтям або об'ємним штампуванням, що відповідає умовам серійного і масового виробництва. Розглянемо оформлення креслення саме таких заготовок.

а) Розробка креслення литої заготовки

При розробці креслення заготовок, що отримуються литтям, необхідно дотримуватись таких технологічних вимог:

1) відливки повинні мати прості зовнішні форми, з мінімальною кількістю ребер, виступів, внутрішніх порожнин;

2) конструкція відливка повинна забезпечити високий рівень його службових характеристик (міцність, жорсткість, герметичність та інші);

3) базові поверхні відливка повинні мати зручне розміщення для обробки різанням;

4) конструкція відливка за даних умов виготовлення повинна передбачати мінімальні витрати матеріалу.

При розробці креслення литої заготовки необхідно також дотримуватись ряду вимог щодо розміщення відливка у формі:

1) відливок у формі необхідно розташовувати таким чином, щоб загальна висота форми була мінімальною, а напівформи мали приблизно однакову висоту;

2) деталі типу тіл обертання рекомендується формувати з вертикальним розташуванням осі обертання (якщо вісь не є найбільшим розміром);

3) відливки, що мають довгі поздовжні розміри (патрубки, рами, плити) необхідно розташовувати так, щоб найдовший габарит був горизонтальним;

4) поверхні, пов'язані між собою точними розмірами, рекомендується розташовувати в одній половині форми (бажано в нижній), в нижній необхідно також розташовувати масивні та відповідальні елементи відливка;

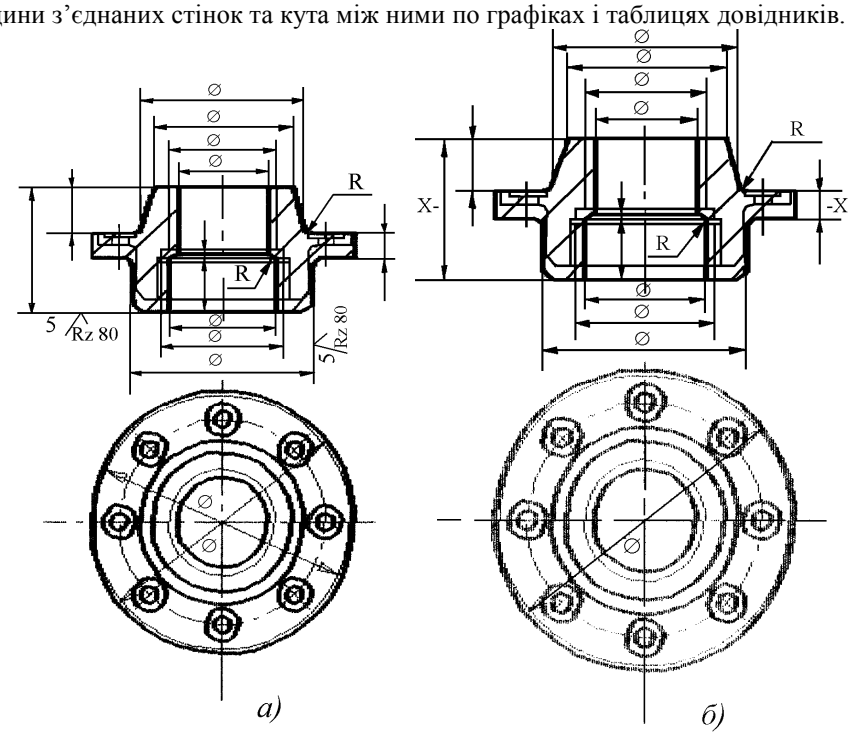
5) тонкостінні елементи відливка бажано розташовувати вертикально або з нахилом, щоб в них не скопичувались газові бульбашки.

Після вибраного способу отримання заготовки, технологічного аналізу вимог до заготовки, а також із врахуванням розрахункових припусків визначають за державним стандартом основні характеристики відливка: клас точності розмірів, клас точності мас, ступінь жолоблення та ступінь точності поверхонь та величину зміщення частин відливка по площині роз'єднання (якщо форма з 2-х частин). Розрахункові дані узгоджуються з табличними даними державного стандарту.

Після встановлення положення відливка в формі та вибору площини роз'єднання відливка на основі технологічних вимог, переходять до подальшого розрахунку креслення відливка в такій послідовності [25]:

- визначають можливість отримання мінімальних товщин стінок;
- призначають напуски на отвори, западини, порожнини та інші місця, які литтям забезпечити не можливо;
- за державним стандартом в залежності від розміру западин, висоти формотвірних поверхонь, способу лиття та виду модельного комплекту призначають нахили на вертикальні стінки відливок;
- після формування контуру відливка в місцях переходу одного елемента до іншого, призначають радіуси переходу, які вибирають в залежності від матеріалу,

товщини з'єднаних стінок та кута між ними по графіках і таблицях довідників.



1. Точність відливка 8–5–4–7 (ГОСТ26645-85)
2. Невказані нахили …, радіуси лиття …
3. Матеріал-замінник …
4. Термообробка HRC …
5. На поверхні, що не обробляються, допустимі раковини ø… глибиною …

1. Клас точності… група матеріалу… ступінь складності… (ГОСТ 7505-89)
2. Невказані нахили… радіуси…
3. Зміщення по площині роз'єднання не більше…
4. Допустима задирка…
5. Термообробка HRC…

Рис. 12.59. Приклад оформлення креслення заготовки: а – виготовленої литтям; б – виготовленої об'ємним штампуванням

Після визначення всіх даних, що стосуються розробки креслення заготовки, переходять до оформлення креслення заготовки, яке виконується відповідно з правилами ЄСКД та вимогами державних стандартів:

1) креслення відливка повинно мати усі дані, необхідні для виготовлення та контролю відливка. Вихідним документом є креслення готової деталі. В одиничному виробництві елементи відливка виконують на копії креслення деталі, лінію припуску дозволяється позначати червоним кольором;

2) в серійному і масовому виробництві на відливок розробляють окреме креслення, на якому тонкими суцільними лініями показують контур поверхонь, що обробляються, а також контур отворів, западин та виточок, що не виконуються

литтям, на які призначені напуски. Ці напуски закреслюють навхрест тонкими суцільними лініями або штрихують (див. рис. 12.59, *а*);

3) при викреслюванні відливка необхідно враховувати усі припуски з позначенням їх величин. Величини припусків вказують лінійним розміром (виконавчий розмір відливка і розмір деталі) або цифрою перед знаком шорсткості (рис. 12.59, *а*);

4) контур відливка із врахуванням припусків зображають товстими суцільними лініями і проставляють виконавчі розміри (рис. 12.59, *а*).

Після оформлення креслення відливка призначають технічні умови, в яких вказують вимоги державного стандарту та інші:

1) основну точнісну характеристику відливка в такій послідовності: клас точності розмірів, ступінь жолоблення, ступінь точності поверхонь, клас точності мас та допуск на зміщення поверхонь по площині роз'єднання, наприклад, точність відливка 8-5-4-7 ЗМ 0,8 ГОСТ 26645 означає клас точності розмірів – 8, ступінь жолоблення – 5, ступінь точності поверхонь – 4, клас точності мас – 7 і зміщення поверхонь – 0,8. Для різних розмірів одного і того ж самого відливка допускається застосування різних класів розмірної точності в залежності від вимог поверхонь та умов їх забезпечення;

2) непозначені на кресленні нахили та радіуси переходів або заокруглень;

3) матеріал-замінник;

4) вказівки термічної обробки та встановлені межі твердості;

5) відомості про види, кількості та розміри допустимих дефектів лиття;

6) допоміжні спеціальні вимоги.

Штамп креслення оформляється аналогічно штампу готової деталі, тільки нижче найменування деталі в дужках вказується "відливка".

б) Розробка креслення штампованої заготовки

Послідовність розробки креслення штампованої заготовки аналогічна розробці креслення заготовки, що отримується литтям, в першу чергу необхідно зробити аналіз креслення деталі та дотриматись основних технологічних вимог при виборі положення поверхонь роз'єднання штампа:

1) штамповка (поковка) повинна вільно вийматись зі штампа. Для цього площа будь-якого перерізу поковки вище чи нижче поверхні роз'єднання штампа повинна зменшуватись в міру віддалення від цієї поверхні за рахунок штампувальних нахилів;

2) в більшості випадків роз'єднання роблять в площині найбільших габаритних розмірів поковки;

3) для поковок-шестерень при будь-яких співвідношеннях розмірів перевагу віддають штамповці вздовж осі;

4) за можливістю поверхні роз'єднання штампа повинні проходити по осі симетрії деталі, щоб в обох половинах штампа розміщувався однаковий об'єм металу;

5) лінія перетину поверхні роз'єднання з поковкою повинна проходити по тілу поковки. В цьому випадку невелике зміщення однієї з половин штампа легко замітити;

6) бажано, щоб поверхня роз'єднання штампа була плоскою, що спрощує виготовлення штампа, але може бути і ламаною, якщо це призводить до зменшення нахилів та зменшення витрат металу.

Після аналізу та врахування технологічних рекомендацій, вибору обладнання переходять до подальшого оформлення креслення штамповки відповідно до вимог державного стандарту в такій послідовності:

1) визначають основну технічну характеристику штамповки: клас точності, ступінь складності та групу матеріалу;

2) узгоджують розрахункові в пп. 2.4.2 та 2.4.5 припуски і допуски з відповідними даними державного стандарту;

3) на отвори, заглиблення та інші елементи, що не можливо отримати штампуванням, призначають напуски; за необхідності розраховують і вказують намітки відповідно до рекомендацій [25];

4) призначають штампувальні нахили в залежності від форми і розмірів порожнин та заглиблень, а також радіуси переходу поверхонь;

5) відповідно до вимог державного стандарту товстими суцільними лініями викреслюють контур штамповки, вказують умовним позначенням Х-----Х площину роз'єднання штампа, проставляють виконавчі розміри з допусками;

6) призначають технічні умови в тій же послідовності і з тим же змістом, але зі своїми даними, що і для штамповки.

Приклад оформлення креслення показаний на рис. 12.59, *б*.

12.5. Вибір обладнання, технологічного оснащення та виконання нормативно-розрахункових робіт (п'ятий етап розробки технологічного процесу виготовлення деталі)

На цьому етапі розв'язуються такі задачі:

- остаточний вибір технологічного обладнання;
- вибір пристроїв;
- вибір різального і допоміжного інструментів;
- вибір методів і засобів технічного контролю;
- вибір засобів механізації та автоматизації;
- вибір розмірної наладки;
- проектування схем інструментального налагодження;
- встановлення режимів обробки;
- нормування операцій.

12.5.1. Вибір технологічного обладнання

При розробці проектної технології вибір технологічного обладнання обмежується економічними міркуваннями.

Попередньо обладнання вибирають паралельно з розробкою МОП і МОД відповідно до типу виробництва.

Згідно з класифікацією верстатів, запропонованою А.І. Кашириним, верстатне обладнання поділяється на такі види: верстати широкого або загального призначення (універсальні), верстати високої продуктивності, верстати спеціалізовані та спеціальні.

Верстати широкого або загального призначення застосовують у серійному та одиничному виробництвах.

Верстати високої продуктивності мають обмежені технологічні можливості. Проте, завдяки підвищеній потужності та жорсткості, на них можна вести обробку на більш високих режимах різання і більш концентрованими методами. До верстатів

цього типу належать: токарні багаторізцеві, гідрокопіювальні, одно- і багатошпиндельні автомати і напівавтомати, круглошліфувальні, що працюють методом поперечної подачі, безцентрово-шліфувальні, барабанно й карусельно-фрезерні та ін. Такі верстати призначені для великосерійного та масового виробництв.

Спеціалізовані верстати створюють на базі верстатів високої продуктивності встановленням додаткових шпинделів та інших вузлів, за допомогою яких вони можуть бути пристосовані для виконання конкретних операцій при обробці конкретних деталей в умовах масового виробництва.

Спеціальні верстати проектують та виготовляють на особливе замовлення та використовують для виконання певної операції. Проектування та виготовлення верстатів цієї групи є дуже дорогим. Тому вони виправдовують себе лише у масовому виробництві. Особливі групи складають агрегатні верстати, що застосовуються в серійному та масовому виробництвах, та верстати з числовим програмним керуванням, які використовують в умовах дрібно- та середньосерійного виробництв.

Вибір технологічного обладнання повинен базуватись на аналізі витрат на реалізацію технологічного процесу в межах життєвого циклу виробів при заданій їх якості. Результати аналізу подають відношенням: основних часів, штучних часів, приведених затрат при виконанні робіт на різних верстатах.

Обладнання вибирають за головним критерієм, що найбільше виявляє його функціональне призначення і технологічні можливості. Таким критерієм є вид обробки, на який розрахований верстат, відповідно до його службового призначення (токарний – для точіння, фрезерний – для фрезерування та ін.). Другим за важливістю критерієм є габаритні розміри робочої зони верстата, які повинні відповідати габаритним розмірам заготовки із врахуванням розмірів пристрою. Третім критерієм є відповідність верстата необхідній точності обробки.

Забезпечивши дотримання цих трьох основних вимог подальший аналіз ведуть у напрямку виявлення можливості роботи на оптимальних режимах, відповідності верстата за потужністю, продуктивністю, можливості його механізації та автоматизації. Аналіз повинен виходити з того, що зведені витрати на виконання операції повинні бути мінімальними, а період окупності меншим, ніж життєвий цикл виробів, що виготовляються. При цьому враховують також зручність обслуговування, можливість багатоверстатного обслуговування, вимоги техніки безпеки та промислової санітарії. Річні приведені затрати на використання обладнання визначають за розмірами витрат на його придбання (виготовлення) та експлуатацію. Продуктивність обладнання визначають на базі аналізу життєвого циклу виробів.

При виборі обладнання користуються паспортами верстатів, а за їх відсутності – каталогами металорізального та іншого обладнання.

12.5.2. Вибір пристроїв

При виборі пристроїв керуються наступним. В одиничному і дрібносерійному виробництвах широко застосовують універсальні пристрої (патрони, лещата, ділильні універсальні головки, поворотні столи тощо). У великосерійному і масовому виробництвах застосовують головним чином спеціальні пристрої, які скорочують допоміжний і основний час більше, ніж універсальні, при більш високій точності.

Вибір пристроїв повинен базуватися на аналізі затрат на реалізацію технологічного процесу у встановлений проміжок часу при заданій кількості виробів. Аналіз затрат повинен передбачати порівняння варіантів пристроїв, що відповідають однаковим вимогам і забезпечують вирішення однакових завдань у конкретних виробничих умовах. При виборі оптимального варіанта пристрою повинні враховуватись: технічні вимоги на виготовлення деталі – кількість деталей та строки їх виготовлення; вимоги техніки безпеки та промислової санітарії; затрати на виготовлення пристрою. У практиці сучасного машинобудування сформувались такі системи пристроїв.

Універсально-збірні пристрої (УЗП) компонують з остаточно оброблених взаємозамінних стандартних універсальних елементів. Їх використовують як спеціальні пристрої короткочасної дії. Вони забезпечують встановлення та фіксацію заготовок у межах габаритних можливостей комплекту УЗП.

Спеціальні збірно-розбірні пристрої (СЗРП) – пристрої, які компонують зі стандартних елементів додатковою їх механічною обробкою і використовують як спеціальні необоротні пристрої тривалої дії з оборотних елементів.

Нерозбірні спеціальні пристрої (НСП) – пристрої, які компонують із застосуванням стандартних деталей та вузлів загального призначення як необоротні пристрої довготривалої дії з необоротних деталей та вузлів. Вони складаються з двох частин: уніфікованої базової частини та змінного налагодження. Пристрої цієї системи стійкі до змін конструкції оброблюваних заготовок та коригувань технологічних процесів. У випадку подібних змін необхідна лише заміна змінного налагодження. Пристрої цієї системи використовують при груповій обробці деталей.

Універсально-безналагоджувальні пристрої (УБП) – найбільш поширена система в умовах серійного виробництва. Ці пристрої забезпечують встановлення та фіксацію оброблених заготовок будь-яких виробів малого та середнього габариту. При цьому встановлення заготовок пов’язане з необхідністю контролю їх орієнтації в пристрої. Такі пристрої забезпечують виконання широкої номенклатури операцій обробки заготовок.

Універсально-налагоджувальні пристрої (УНП) – пристрої які забезпечують встановлення за допомогою спеціальних налагоджень, фіксацію оброблюваних заготовок малого і середнього габариту та виконання широкої номенклатури операцій обробки заготовок. Застосовуються як пристрої короткочасної дії.

Спеціальні налагоджувальні пристрої (СНП) – пристрої, що забезпечують за певною схемою базування, встановлення за допомогою спеціальних налагоджень та фіксацію споріднених за конструкціями заготовок для виконання типових операцій.

Усі перераховані системи пристроїв належать до категорії уніфікованих. Вибір уніфікованого пристрою багато в чому відрізняється від вибору звичайного оснащення. Як правило, цю роботу виконує конструктор по оснащенню. Технолог лише вказує необхідну систему пристрою і приводить схему базування.

При виборі пристроїв виконують комплекс взаємозв’язаних робіт:

- проведення аналізу конструктивних характеристик оброблюваної або оброблюваних (при груповій обробці) деталей: габаритних розмірів, матеріалу, точності, конструктивних характеристик оброблюваних поверхонь тощо. Паралельно аналізують організаційні та технологічні умови виготовлення деталі (схема базування, вид технологічної операції, організаційна форма виготовлення та ін.);
- групування технологічних операцій для визначення найбільш прийнятної системи пристроїв і підвищення коефіцієнтів їх використання;
- встановлення належності конструкцій пристроїв до тієї чи іншої системи;

- визначення або уточнення вихідних вимог до конструкції пристрою;
- вибір конструкції пристроїв, що відповідають прийнятій схемі базування деталей, з наявної номенклатури;
- видача технологічного завдання на розробку і виготовлення пристрою.

Групування технологічних операцій, що здійснюється в серійному виробництві, виконується із врахуванням забезпечення раціонального завантаження кожного пристрою і на основі аналізу обсягів випуску виробів на заданий період (кількість виробів у партії і періодичність запусків, сумарна трудомісткість згрупованих на пристрій технологічних операцій).

При виборі пристроїв необхідно використовувати таку документацію: нормативно-технічну (стандарти на пристрої та їх деталі, стандарти на терміни і визначення технологічного оснащення); технічну (альбоми типових конструкцій пристроїв, каталоги і паспорти на технологічне обладнання, інструктивно-методичні матеріали щодо вибору технологічного оснащення).

При техніко-економічному обгрунтуванні вибору пристроїв розраховується коефіцієнт завантаження пристрою та затрати на оснащення операцій. Коефіцієнт завантаження пристрою визначають за формулою:

$$K_{з.п.} = T_к N/F_q,$$

де $T_к$ – штучно-калькуляційний час виконання технологічної операції, хв;

N – місячна програма (кількість повторів операцій), що планується;

F_q – дійсний місячний фонд часу, год.

Формули для визначення затрат на оснащення технологічної операції для різних систем пристроїв наведені в [24].

12.5.3. Вибір різального та допоміжного інструментів

При виборі типу і конструкції різального інструменту необхідно враховувати характер виробництва, метод обробки, тип верстата, розмір, конфігурацію та матеріал оброблюваної заготовки, необхідну якість поверхні, точність обробки [24]. Характер виробництва впливає на вибір різального інструменту з економічної точки зору. Так, у масовому виробництві застосування спеціального багатолезового інструменту є доцільним, оскільки затрати на його виготовлення швидко перекриваються за рахунок зниження вартості деталі у зв'язку з пришвидшенням її обробки. В той же час в одиничному виробництві застосування спеціального інструменту може виявитись невигідним. У цьому випадку до спеціального інструменту вдаються лише тоді, коли стандартним інструментом обробити деталь неможливо. Взагалі необхідно пам'ятати, що застосування стандартного інструменту необхідно визнати більш бажаним незалежно від характеру виробництва, оскільки він у 5...10 разів дешевший аналогічного спеціального. Метод обробки, прийнятий для виконання операції, визначає тип інструменту. Тип верстата впливає на вибір інструменту в тому відношенні, що він, з одного боку, визначає метод обробки, а з другого – конструктивно вирішує спосіб закріплення інструмента і тим самим визначає конструкцію його приєднувального елементу.

Розмір і конфігурація оброблюваної деталі впливає на вибір інструмента щодо його розмірів і конструкції. Великогабаритні деталі для своєї обробки вимагають інструмента великих типорозмірів (за винятком обробки кріпильних отворів, канавок та інших дрібних елементів). Конфігурація оброблюваних поверхонь часто є причиною застосування спеціального фасонного інструменту. Матеріал

оброблюваних деталей впливає на вибір матеріалу різального інструмента і на геометричні параметри його різальної частини. Необхідна якість поверхні впливає на вибір конструкції інструмента і його геометрію. Наприклад, при чорновому фрезеруванні, коли якість фрезерованої поверхні не має суттєвого значення, застосовують фрези з великими зубцями – як більш продуктивні. При чистовому фрезеруванні перевагу віддають фрезам з дрібними зубцями, які непридатні для роботи з великим припуском.

Точність обробки впливає на вибір типу і конструкції інструмента. Так, в залежності від точності отвору остаточну його обробку можна виконувати свердлом, зенкером, розверткою, різцем, протяжкою, шліфувальним кругом. При виборі конкретних типорозмірів різального інструменту необхідно використовувати стандарти на інструмент галузеві та відомчі стандарти підприємства.

Особливе значення має вибір матеріалу різальної частини інструмента. Із врахуванням економічної доцільності необхідно застосовувати нові марки матеріалів, які характеризуються підвищеною стійкістю проти спрацювання. Забезпечуючи високу якість оброблюваних поверхонь, вони застосовуються для чистової обробки замість малопродуктивного і дорогого шліфування. До них належать надтверді матеріали (НТМ). Лезовий різальний інструмент, оснащений полікристалами НТМ, дає змогу обробляти практично всі матеріали, забезпечуючи при цьому високу продуктивність та розмірну стійкість.

Рекомендації щодо вибору абразивного інструмента. Різноманітність поєднань фізико-механічних властивостей і структури матеріалів, а також умов шліфування не дозволяє однозначно встановлювати оптимальну характеристику шліфувального круга і його абразивного матеріалу. Нижче наводяться лише загальні рекомендації, що базуються на практичному досвіді.

Для якісного та продуктивного шліфування шліфувальний круг повинен бути вибраний в залежності від конкретних умов обробки. Абразивний матеріал зерен круга призначають в залежності від матеріалу заготовки. Так, електрокорунди застосовують при шліфуванні сталей (незагартованих і загартованих), кувального чавуну і м'яких бронз. Зелений карбід кременю застосовують при заточуванні інструмента, оснащеного твердим сплавом. Зернистість круга вибирають в залежності від потрібної якості оброблюваної поверхні та величини поверхні дотику круга із заготовкою. При чорновому шліфуванні застосовують круги з більш великим зерном, ніж при чистовому шліфуванні. При шліфуванні в'язких і м'яких металів для запобігання швидкого засалювання круга використовують більш крупнозернисті круги, при шліфуванні крихких і твердих металів – дрібнозернисті. Чим більша поверхня дотику круга із заготовкою, тим більш крупнозернистим повинен бути круг.

На твердість шліфувального круга впливають умови, що забезпечують самозаточування круга в процесі шліфування. Тому чим твердіший матеріал заготовки, тим м'якшим повинен бути круг, і навпаки, оскільки при твердому матеріалі зерно круга буде зношуватись інтенсивніше, тим швидше буде випадати з круга залишаючи місце новому, гострому зерну. Більш твердими кругами для запобігання осипання повинні бути крупнозернисті круги, оскільки в інших однакових умовах на зерно крупнозернистого круга припадає більше навантаження, ніж на зерно дрібнозернистого круга. Чим більша площа дотику круга із заготовкою, тим менша глибина різання припадає на одне зерно, більше умов для засалювання круга і перегрівання оброблюваної поверхні, а тому м'якішим повинен бути шліфувальний круг. Таким чином, при однакових t і D круг повинен бути м'якшим

при плоскому шліфуванні, ніж при зовнішньому круглому шліфуванні, із зв'язуючих матеріалів найбільш поширені керамічні, які забезпечують високу продуктивність та дозволяють вести шліфування із застосуванням мастильно-охолоджуючої рідини.

За структурою круг вибирають виходячи з умов обробки. Круги зі щільною структурою, що добре зберігають форму, застосовують для чистових і фасонних робіт, круги із середньощільною структурою – для обробки заготовок із незагартованих сталей, для заточування різального інструмента, для всіх видів круглого шліфування і для плоского шліфування периферією круга, круги з відкритою структурою застосовують при обробці заготовок з в'язких і м'яких матеріалів і при плоскому шліфуванні торцем круга.

Паралельно з вибором різального інструмента вибирають допоміжний інструмент. При цьому керуються такими міркуваннями. Кращим варіантом є той, при якому допоміжний інструмент не використовується. В цьому випадку досягаються більш короткі технологічні розмірні ланцюги і точність обробки підвищується. Наприклад, свердло конічним хвостовиком вставляється в конічний отвір шпинделя свердлильного верстата. В тих випадках, коли неможливо обійтись без допоміжного інструмента, перевагу віддають стандартному і нормалізованому допоміжному інструменту (перехідні конуси Морзе, цанги, оправки для циліндричних, черв'ячних і шліцьових фрез та ін.). Лише за відсутності стандартного вдаються до призначення спеціального допоміжного інструмента (різцетримачі багаторізцевих верстатів тощо).

12.5.4. Вибір методів і засобів технічного контролю якості деталей

Метрологічне забезпечення точності технологічного процесу вирішується по двох напрямках: організаційному і вибору засобів контролю на технологічних операціях. Організаційний напрямок характеризується призначенням видів контролю:

- вхідного контролю якісних показників матеріалів і заготовок;
- операційного контролю на всіх стадіях виробництва;
- профілактичного контролю (нагляд за стабільністю технологічного процесу, станом обладнання, оснащення, інструменту і засобів вимірювання).

Розрізняють контроль: перших деталей при налагодженні верстата, операційний та кінцевий. Два останні можуть бути стовідсотковими або вибірковими [26].

Правила вибору технологічного оснащення процесів технологічного контролю регламентовані державними стандартами. У відповідності зі стандартом вибір засобів контролю базується на забезпеченні заданих показників процесу контролю і аналізу затрат на його реалізацію.

Встановлені обов'язкові показники процесу контролю: точність вимірювань, достовірність та трудомісткість контролю, вартість контролю. В залежності від специфіки виробництва і видів об'єктів контролю допускається використовувати інші показники контролю: похибку вимірювань, об'єм, повноту, періодичність, тривалість контролю тощо.

При виборі засобів контролю використовується конструкторська і технологічна документація на виріб, стандарти різного рівня на засоби контролю, каталоги і класифікатори засобів контролю та інші матеріали.

При розробці технологічного процесу, поряд з окремими операціями контролю, необхідно передбачити також елементи контролю, що входять в операції механічної

обробки заготовки, які передують операціям контролю.

Для правильного вибору методів і засобів технологічного контролю необхідна обов'язкова оцінка впливу похибки вимірювання на результати контролю. В залежності від номінального розміру і допуску на виготовлення деталі за державними стандартами визначають гранично допустиму похибку вимірювання. Користуючись довідником з виробничого контролю [29], вибирають такий вимірювальний інструмент чи прилад, гранична похибка вимірювання якого не перевищує похибку вимірювання [37].

Як правило, найбільші технічні та організаційні труднощі представляє контроль відхилень форми і відносного положення поверхонь деталі.

Контроль відхилень від прямолінійності та площинності виконують звичайно за допомогою перевірних лінійок і плит "на просвіт", "на фарбу", з використанням щупів і вимірювальних пристроїв, а також за допомогою автоколіматорів.

Перевірку відхилень від круглості циліндричних поверхонь в поперечному перерізі виконують на кругломірах.

На рис. 12.60–12.63 наведені типові схеми вимірювання відхилень відносного положення поверхонь.

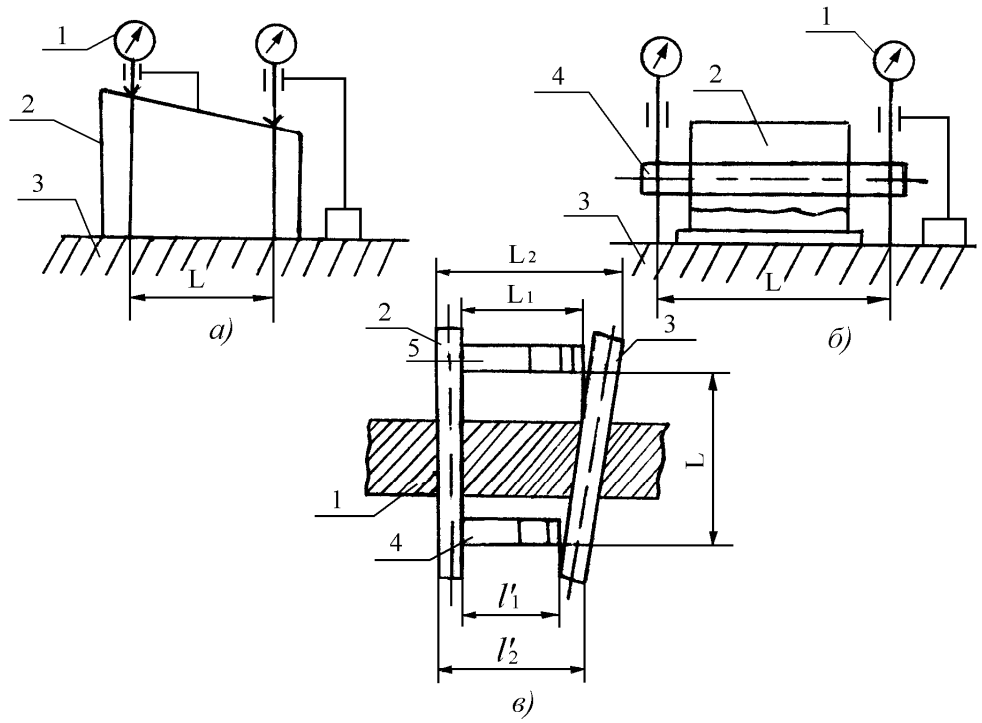


Рис. 12.60. Схеми вимірювання відхилень від паралельності:
а – поверхонь: 1 – вимірювальна головка; 2 – деталь, що перевіряється;
3 – перевірна плита; б – поверхні та осі отвору: 1, 2, 3, – див. а;
4 – контрольний валик; в – осей двох отворів: 1 – деталь, що перевіряється;
2, 3 – контрольні оправки; 4, 5 – кінцеві міри довжини

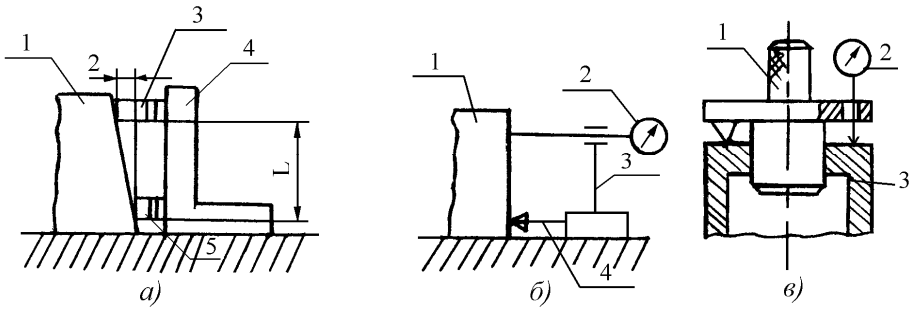


Рис. 12.61. Схеми вимірювання відхилень від перпендикулярності:
а – за допомогою кутника та кінцевих мір довжини: 1 – деталь, що перевіряється;
2 – відхилення від перпендикулярності; 3, 5 – блоки кінцевих мір; 4 – кутник;
б – за допомогою контрольного пристосування: 1 – деталь, що перевіряється;
2 – індикатор; 3 – стійка; 4 – регульований стрижень;
в – осі отвору до площини торця деталі: 1 – центроване пристосування;
2 – індикатор; 3 – деталь, що перевіряється

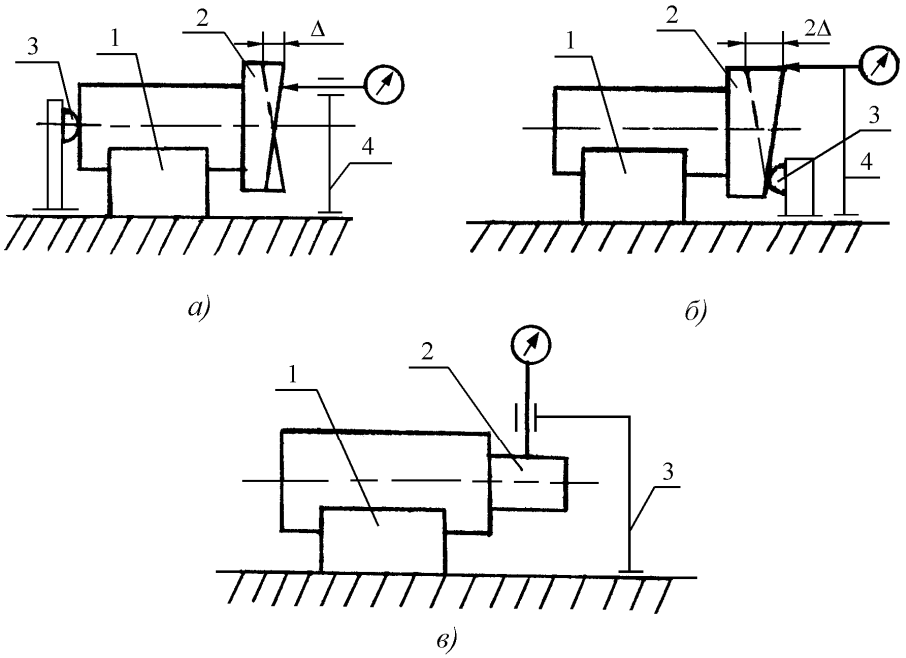


Рис. 12.62. Схеми вимірювання торцевого і радіального биття на призмах: а ,б – торцевого биття: 1 – призма; 2 – деталь, що перевіряється;
3 – нерухомий упор; 4 – стійка з індикатором; Δ – торцеве биття; в – радіального биття: 1 – призма; 2 – деталь, що перевіряється; 3 – стійка з індикатором

Характеристики універсальних вимірювальних засобів наведені в довідковій літературі [29].

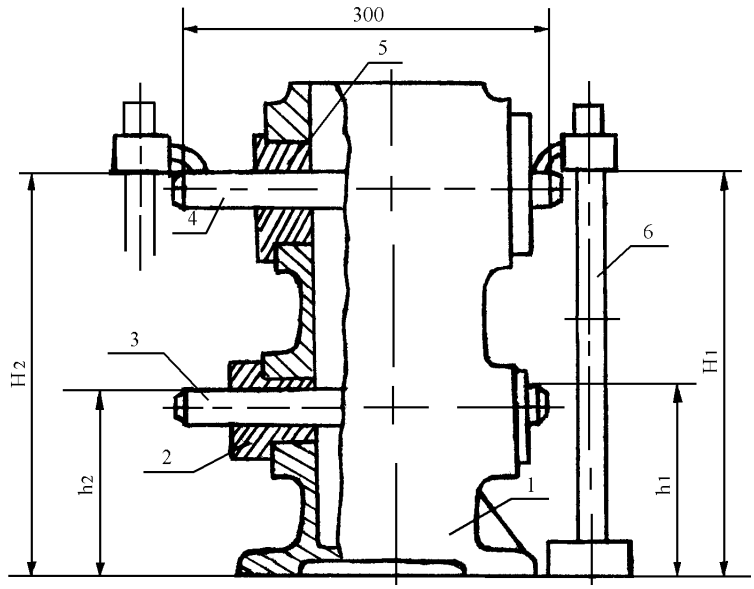


Рис. 12.63. Схема контролю відхилення від паралельності осей отворів

Приклад. Необхідно вибрати метод і засоби контролю відхилення від паралельності осей отворів діаметром 128H9 і діаметром 72H9 при виготовленні корпуса ланцюгової коробки швидкостей (рис. 12.63) в умовах великосерійного виробництва [37].

Похибка, що розглядається – відхилення від паралельності осей отворів, яке не повинно перевищувати 0,4 мм на довжині 300 мм, – формується при розточуванні цих отворів на агрегатно-розточувальних верстатах, попередньо настроєних на заданий розмір, і на спеціальному чотиришпиндельному алмазно-розточувальному верстаті. Похибка незбігання баз заготовки на цих операціях дорівнює нулю, похибка закріплення практично відсутня.

Статичне налагодження верстата виконується з високою точністю за допомогою універсальних вимірювальних засобів.

Похибка динамічного налагодження особливо на остаточному переході обробки отворів – алмазно-розточувальній операції – невелика, оскільки верстат має високу жорсткість і короткі розмірні та кінематичні ланцюги. Тому в цьому випадку можна обмежитись вибірковим контролем, наприклад, контролювати одну деталь з десяти відібраних і, крім того, контролювати після кожного налагодження агрегатно-розточувальних чи алмазно-розточувальних верстатів.

Враховуючи вищевикладене і невисоку точність контрольованого параметра 0,4 мм на довжині 300 мм, можна застосовувати для контролю універсальні вимірювальні засоби: штангенрейсмус, контрольні оправки і спеціальні втулки. Схема контролю наведена на рис. 12.63. Деталь 1 вставляють на контрольну плиту. В отвори деталі вставляють втулки 2, 5 і контрольні оправки 3, 4.

За допомогою штангенрейсмуса 6, відлік за ноніусом 0,1 мм вимірюють розміри H_1, H_2 і h_1, h_2.

Відхилення визначають як найбільшу алгебраїчну різницю:

$$(H_1 - h_1) - (H_2 - h_2).$$

12.5.5. Вибір засобів механізації та автоматизації [24]

Механізація технологічних процесів повинна бути спрямована на часткову або повну заміну ручної праці машиною в тій частині технологічного процесу, де змінюється форма або якість виробів за участю людини. Автоматизація технологічних процесів повинна бути спрямована на передачу приладам функцій управління, які раніше здійснювались людиною. Механізація та автоматизація технологічних процесів можуть бути повними або неповними в залежності від того, вся людська праця чи тільки частина її замінюється у відповідних функціях процесу керування роботою верстата.

Засоби механізації та автоматизації технологічних процесів вибирають у такому порядку: визначають об'єкти механізації та автоматизації; розробляють варіанти нових технологічних процесів або вдосконалюють діючі; вибирають оптимальний варіант технологічного процесу зі встановленими засобами механізації та автоматизації.

Об'єктами механізації можуть бути: завантаження, переміщення і затискання заготовки; керування верстатом; робочі рухи верстата і оброблюваної заготовки; прибирання, транспортування стружки тощо. Об'єктами автоматизації можуть бути: завантаження та затискання заготовки; керування верстатом; робочі рухи верстата і деталі; контроль розмірів; межопераційний транспорт та ін.

Вибираючи конкретні конструктивні рішення, в першу чергу необхідно використовувати типові рішення, описані в літературі. За відсутності типового рішення технолог розробляє принципову схему, яка служить конструктору підставою для проектування. При цьому може бути декілька варіантів. Варіанти механізованих або автоматизованих технологічних операцій повинні забезпечувати: заданий обсяг випуску продукції та строки виготовлення; необхідний рівень якості виробів; необхідні умови праці та техніки безпеки.

Оптимальний варіант технологічного процесу визначають за мінімальною собівартістю продукції із врахуванням строків окупності вкладень на механізацію або автоматизацію. Вибраний варіант технологічного процесу зі встановленими засобами механізації і автоматизації повинен забезпечувати (при його впровадженні в умовах, тотожних іншим варіантам процесу) найбільшу економію праці при найменших матеріальних затратах.

При визначенні засобів механізації і автоматизації технологічних процесів необхідно врахувати масштаби виробництва і керуватись такими основними положеннями [26]. В дрібносерійному і середньосерійному виробництві необхідно використовувати універсальні верстати з механізацією та частковою автоматизацією завантаження, встановлення закріплення і вивантаження заготовок, робочих і холостих переміщень вузлів верстата з використанням копіювальних пристроїв та програмного керування. В багатосерійному та масовому виробництві необхідно використовувати напівавтомати з частковим чи повним завантаженням, встановленням, закріпленням, вивантаженням заготовок та їх контролем, впроваджувати автомати, агрегатні верстати та автоматичні лінії.

Показник рівня механізації та автоматизації технологічних процесів розраховується за формулою:

$$\alpha = \frac{\sum Тм(а)}{\sum Тшт},$$

де ∑Тм(а) – сумарний машинний час, хв;

∑Тшт – сумарний штучний час, хв;

Встановлено 8 категорій механізації та автоматизації технологічних процесів [24]:

– нульова – за відсутності механізації та автоматизації;
– нижча – при основному показнику рівня 0,01...0,25;
– мала – при основному показнику рівня 0,25...0,45;
– середня – при основному показнику рівня понад 0,45...0,60;
– велика – при основному показнику рівня понад 0,60...0,75;
– підвищена – при основному показнику рівня понад 0,75...0,90;
– висока – при основному показнику рівня понад 0,90...0,99;
– повна – при основному показнику рівня 1

12.5.6. Вибір розмірного налагодження

Вибір розмірного налагодження та технічних засобів його виконання є відповідальним етапом проектування верстатної операції. Цей етап багато в чому визначає зміст і послідовність переходів і прийомів, техніку їх виконання, вид і точність налагоджувальних і контрольно-вимірювальних засобів.

Рекомендується така послідовність вирішення завдань:

- уточнення типу виробництва;
- вибір виду розмірного налагодження для обробки елементарних поверхонь деталі;
- точнісна оцінка налагодження;
- вибір виду налагодження для операції в цілому;
- врахування можливих похибок налагодження і вибір технічних засобів його виконання.

Вибір виду розмірного налагодження виконується в кілька етапів. Попереднє рішення приймається на основі рекомендацій, які узагальнюють досвід машинобудування, із врахуванням типу виробництва, розмірних характеристик і складності оброблюваної деталі (табл. 12.22).

Таблиця 12.22

Вибір розмірного налагодження

Деталі	Складність деталей	Вид налагодження при типі виробництва			
		одини-чному	дрібносерійному	серійному	масовому
Великі	П, С П	ПП	СЕ, ПП СЕ, ПД	СЕ СЕ, ПД	СЕ СЕ, КБ
Середні	С П	ПП	СЕ, ПД, КБ, ПП ПД, ПП	СЕ,ПД, КБ ПД, ПП	СЕ, КБ ПД
Малі	С	ПП	ПД, СЕ	ПД, СЕ	ПД

З таблиці видно, що в деяких випадках для одних і тих же умов рекомендується декілька видів розмірної ланки. В цих випадках при варіантному проектуванні їх розгляд необхідно починати за порядком розташування в рядку (зліва направо).

Для уточнення виду налагодження виконується точнісна оцінка можливості її виконання в межах частини поля допуску, яка відводиться на компенсацію похибок налагодження, тобто необхідно забезпечити виконання умови:

$$\Delta р.н. \le Тр.н.,$$

де Тр.н. – допуск на налагодження, який можна визначати за [30, табл. 24];

Δр.н – очікуване поле розсіювання розмірів, зумовлене видом розмірного налагодження.

При налагодженні за пробними проходами (ПП):

$$\Delta_{р.н.} = \sqrt{\omega^2_{вим} + \omega^2_{рег}},$$

при налагодженні за еталоном:

$$\Delta_{р.н.} = \sqrt{\omega^2_{е} + \omega^2_{в.р.і.}},$$

де $\omega_{вим}$ – допустима похибка вимірювання [30, табл. 27];

$\omega_{рег}$ – похибка регулювання положення різального інструменту і окремих вузлів верстата.

Оскільки регулювання положення інструменту ведеться за допомогою лімбів, похибка регулювання $\omega_{рег}$ залежить від похибки відліку, викликаної несуміщенням штрихів лімба і покажчика, від ціни поділки лімба, зазору в з'єднанні "гвинт-гайка", маси супорта та ін. Легким постукуванням по ручці лімбу точність регулювання підвищується на 30–40 %. При подачі в стики під тиском повітря, мастила похибка $\omega_{рег}$ доходить до 1 мкм, а при використанні магнітострикційних пристроїв для переміщення вузлів $\omega_{рег}$ = 0,1 мкм. В проектних розрахунках $\omega_{рег}$ можна визначати за табл. 12.16 [3].

$\omega_{е}$ – похибка виготовлення еталона, яку можна орієнтовно приймати $\omega_{е}$ = 10...20 мкм;

$\omega_{врі}$ – похибка встановлення різального інструменту за еталоном, в проектних розрахунках можна визначати за табл. 12.17 [3].

Для операції вибирають, як правило, те налагодження, яке застосовується для найбільш точних поверхонь. Бажано для операції мати одне налагодження.

12.5.7. Проектування схем інструментального налагодження

Проектування схем інструментальних налагоджень починається з вибору виду інструментального налагодження. Вид інструментального налагодження (одноінструментальне, багатоінструментальне) визначається конфігурацією оброблюваної деталі, технічними вимогами до неї, типом верстата, вибраного для її обробки, партією запуску заготовок у виробництво, кваліфікацією верстатника, досвідом, накопиченим у конкретних умовах виробництва, та іншими факторами.

Схеми налагоджень розробляються при застосуванні в технологічному процесі багатошпиндельних, багатоінструментальних та багатомісних верстатів. Основним технологічним документом в цьому випадку є карта налагоджень. Згідно з державним стандартом карта налагоджень є документом, що надає допоміжну інформацію до технологічних процесів (операцій) по налагодженню засобів технологічного оснащення.

Проектування налагодження здійснюється в такій послідовності:

1) розрахунок допуску на налагодження та граничних настроювальних розмірів із врахуванням миттєвого розсіювання розмірів і змінних систематичних похибок обробки.

Розрахунки виконуються за формулами:

- допуск на налагодження без врахування змінних систематичних похибок:

$$T_н = T - 6\sigma\left(1 + 1/\sqrt{m}\right);$$

- налагоджувальний розмір без врахування систематичних змінних похибок:

$$A_н = \frac{A_{min} + A_{max}}{2} \pm 0{,}5T_н.$$

При врахуванні систематичних похибок настроювальний розмір визначається за формулою:

$$A_н = \frac{A_{max}^{гр.сер} + A_{min}^{гр.сер}}{2} \pm 0{,}5T_н, ,$$

де $A_{max}^{гр.сер} = A_{max} - b - 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m});$

$A_{min}^{гр.сер} = A_{min} + a + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}).$

Допуск на налагодження в цьому випадку визначається як різниця групових середніх розмірів, тобто $A_{max}^{гр.сер} - A_{min}^{гр.сер}$, або за формулою:

$$T_н = T - 6\sigma\left(1 + 1/\sqrt{m}\right) - b,$$

де $T_н$ – допуск на налагодження;

T – допуск на виконуваний параметр деталі;

σ – середньоквадратичне відхилення при обробці партії пробних заготовок на технологічній системі, на якій буде оброблюватись вся партія деталей. В проектних умовах приймається з попереднього досвіду при обробці подібних деталей на подібний технологічній системі, в реальних умовах – визначається експериментально;

m – кількість пробних заготовок (зазвичай 3 – 5);

$A_н$ – номінал настроювального розміру;

$A_{max}^{гр.сер}$ та $A_{min}^{гр.сер}$ – граничні розміри пробних заготовок;

A_{min} та A_{max} – граничні розміри деталі за параметром, що обробляється;

b – систематична змінна похибка на верхньому граничному значенні допуску на параметр деталі, що обробляється;

α – систематична змінна похибка на нижньому граничному значенні допуску параметра деталі, що обробляється.

2) складання попереднього плану розміщення інструменту у супортах і інструментальних головках за окремими переходами. Попереднє визначення режимів різання, розрахунок продуктивності верстата і порівняння її із заданою програмою. В результаті такого попереднього розрахунку може виникнути необхідність у перегляді вже прийнятих рішень при виборі верстата, оснащення або структури операції. Необхідно намагатися суміщати в часі роботи інструменту, супортів, головок. Розміщення одночасно працюючих різців повинно взаємно врівноважувати зусилля різання, що виникають.

Обточування ступінчастих заготовок необхідно починати з меншого діаметра. Знімати і підрізати торці необхідно одночасно з обточуванням. Завантажувати окремі позиції за числом інструментів необхідно рівномірно. На чистових переходах

обробку найбільш точної поверхні не слід суміщати з обробкою інших менш відповідальних поверхонь, оскільки вібрації та пружні відтискання будуть шкідливо впливати на найбільш точний інструмент і кінцева мета може виявитись недосягненою. Зі збільшенням кількості одночасно працюючого інструменту скорочується довжина робочого ходу супорта.

Необхідно пам'ятати, що при надто великому збільшенні кількості інструменту в налагодженні потужність верстата може виявитись недостатньою і тоді доведеться знижувати режими різання. Крім того, велика кількість одночасно працюючого інструменту, збільшує простої верстата, пов'язані зі зміною інструменту, який затупився. Ця причина інколи змушує знижувати режими різання. В результаті продуктивність обробки при багатоінструментальному налагодженні може знизитись.

3) розрахунок доцільного ступеня концентрації налагодження верстата. Для цього виконують попереднє технічне нормування різних варіантів налагодження і вибирають той, який забезпечує продуктивність обробки.

4) остаточне компонування інструменту у налагодженні верстата і корегування режимів різання.

5) остаточне оформлення схеми налагодження верстата. При розробці схеми налагодження необхідно дати варіант встановлення пристроїв, інструментів та інших пристосувань в потрібне положення, задати необхідні режими тощо.

Карта налагоджень повинна дати повне наочне уявлення про налагодження верстата і можливість досягнення необхідної точності обробки при виконанні даної операції.

На карті налагоджень повинні бути зображені всі елементи технологічної системи, які необхідні для виконання операції:

– деталь, котра обробляється, в закріпленому вигляді на установчих елементах пристрою. Деталь зображується у вигляді ескізу у вільному масштабі. (Кількість видів, розрізів, перерізів, виносних елементів встановлюють з умов забезпечення наочності суті процесу налагодження). Пристрій та його необхідні елементи показують у спрощеному вигляді тонкими лініями – 1S. Для ескізу деталей товщина ліній – (1,5…2)S. Поверхні деталі, що обробляються, – (2,5…3)S.

– *вигляд пристрою* повинен наочно відобразити установчі, орієнтуючі та закріплюючі елементи;

– *різальний інструмент* в його початковому (суцільна лінія) та кінцевому (пунктирна лінія) положеннях і спосіб його встановлення та закріплення на верстаті. Якщо послідовно застосовують декілька різних інструментів, то їх накреслюють рядом з першим у порядку виконання переходів.

На карті налагоджень повинні обов'язково бути вказані:

– розміри, які витримуються на даній операції, з нанесеними граничними відхиленнями (а також просторові відхилення або відхилення форми);

– необхідні розмірні ланцюги і таблиці розрахунків точності по всіх необхідних параметрах;

– розміри і посадки (граничні відхилення) спряжених установчих елементів (поверхонь) оброблюваної деталі, пристроїв, верстата, які визначають точність параметрів;

– таблиці режимів різання по переходах;

– циклограма руху інструментів із вказанням довжини робочого ходу (РХ), величини швидкого підведення (ШП) та швидкого відведення (ШВ) інструменту.

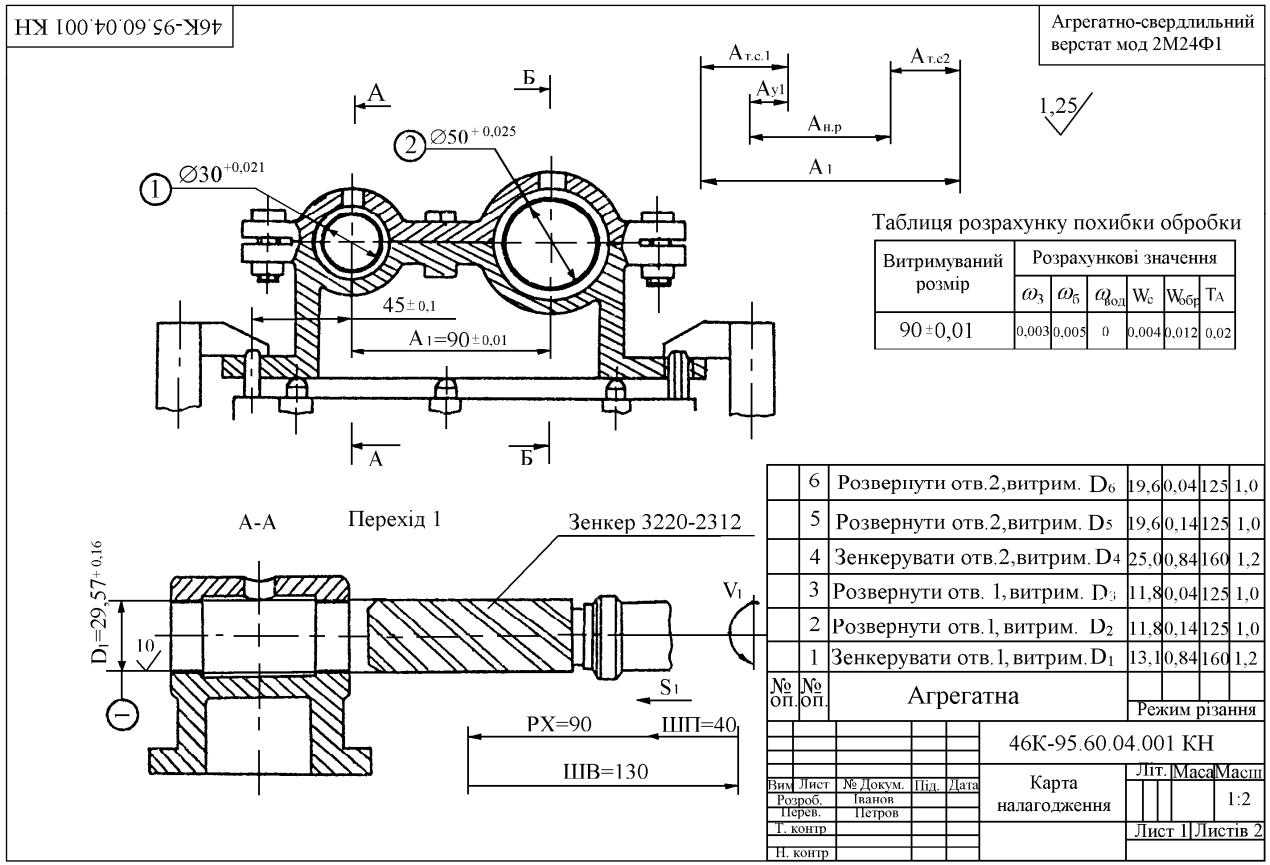
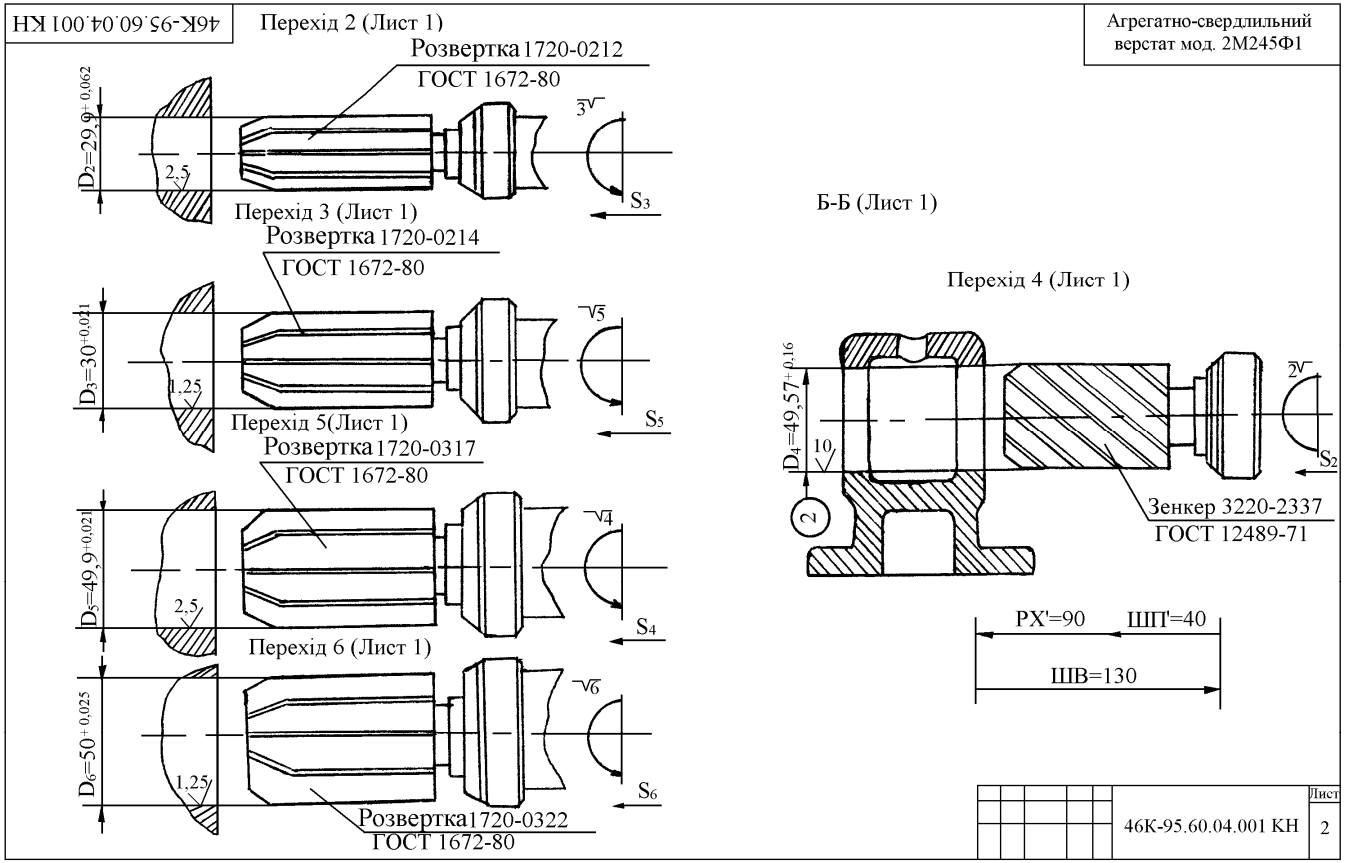

46К-95.60.04.001 КН
Агрегатно-свердлильний верстат мод 2М24Ф1
1,25
Ат.с.1
Ат.с2
Ау1
Ан.р
А1
Таблиця розрахунку похибки обробки
Витримуваний розмір
Розрахункові значення
ωз ωб ωвод Wс Wобр TA
90±0,01
0,003 0,005 0 0,004 0,012 0,02
А
Б
∅50+0,025
∅30+0,021
45±0,1
А1=90±0,01
А-А
Перехід 1
Зенкер 3220-2312
D1=29,57+0,16
10
V1
S1
РХ=90
ШП=40
ШВ=130
6 Розверпути отв.2,витрим. D6 19,6 0,04 125 1,0
5 Розвернути отв.2,витрим. D5 19,6 0,14 125 1,0
4 Зенкерувати отв.2,витрим. D4 25,0 0,84 160 1,2
3 Розвернути отв. 1,витрим. D3 11,8 0,04 125 1,0
2 Розвернути отв.1, витрим. D2 11,8 0,14 125 1,0
1 Зенкерувати отв.1, витрим. D1 13,1 0,84 160 1,2
№ оп. № оп. Агрегатна
Режим різання
46К-95.60.04.001 КН
Вим Лист № Докум. Під. Дата
Розроб. Іванов
Перев. Петров
Т. контр
Н. контр
Карта налагодження
Літ. Маса Масш
1:2
Лист 1 Листів 2

Рис. 12.64



Продовження рис.12.64

На вільному полі схеми налагодження вказуються: назва операції, найменування та модель верстата; перелік всього інструменту, який бере участь у налагодженні, із зазначенням його шифрів і режимів обробки; перелік необхідних копірів, змінних шестерень, кулачків тощо із вказанням їх шифрів; перелік технічних умов, що забезпечуються при виконанні даної операції. Приклад оформлення карт налагодження наведений на рис. 12.64 [26].

12.5.8. Встановлення режимів обробки

Режим різання металу містить такі основні елементи: глибину різання t, мм; подачу S, мм/об (мм/подв. хід); швидкість різання v, м/хв (частота обертання шпинделя верстата n, подв. хід/хв).

Вихідними даними при виборі режиму різання є [24]:

– відомості про заготовку (креслення і технічні умови, вид заготовки, матеріал і його характеристики: марка, стан, механічні властивості); припуски та характер їх розташування; стан поверхневого шару (наявність кірки, окалин, зміцнення);

– дані про оброблювану деталь (робоче креслення, технічні умови); форма, розміри і допуски на обробку; допустимі відхилення від геометричної форми (овальність, конусність, огранка); допустимі похибки взаємного положення окремих поверхонь, вимоги до стану поверхневого шару, в тому числі і до шорсткості поверхонь;

– паспорти верстатів.

Елементи режимів різання повинні підбиратись так, щоб досягти бажаної продуктивності праці при найменшій собівартості операції. Ця вимога досягається використанням інструменту раціональної конструкції (правильно підібраний матеріал різальної частини, найвигідніша геометрія, достатня міцність та жорсткість), а також якщо верстат не обмежує його різальних можливостей. Таким чином, режими встановлюють, виходячи з особливостей оброблюваної деталі, характеристики різального інструменту і верстата. Спочатку встановлюють глибину різання, потім подачу і в останню чергу – швидкість різання.

Глибина різання при однопрохідній обробці на попередньо налагодженому верстаті визначається величиною раніше розрахованого проміжного припуску на обробку даної поверхні. При багатопрохідній обробці глибину різання намагаються призначити найбільшу (але тут треба перевірити за можливостями інструменту), зменшуючи тим самим кількість проходів. На останніх проходах з метою забезпечення заданих точності та шорсткості поверхні глибина різання повинна бути мінімальною (але, треба пам'ятати, що призначати $t \le 0{,}02$ мм – недоцільно).

Подача при чорновій обробці призначається максимально допустима за паспортом верстата. При чистовій обробці подача обмежується необхідною точністю та шорсткістю поверхні [24].

Бажання працювати з максимальними подачами зустрічає ряд технологічних обмежень. Так, наприклад, при грубій обдирній обробці максимально великі подачі можуть призвести до недопустимої вібрації або до поломки різального інструменту і навіть механізмів верстата.

А тому при визначенні максимально допустимої подачі для чорнової обробки необхідно враховувати жорсткість деталі, яка обробляється, надійність її закріплення на верстаті, міцність та жорсткість різального інструменту, а також деяких вузлів

верстата [26].

Подачу визначають двома методами:

– табличним – за таблицями (картами) згідно з [18–20];

– аналітичним – за емпіричними формулами [3, 30, 18–20].

При табличному методі подачу для кожної стадії обробки призначають із врахуванням розмірів поверхні, яка обробляється, заданої точності та шорсткості поверхні, матеріалу, який обробляється, та вибраної на попередньому етапі глибини різання.

Подачу, вибрану для чорнової та напівчистової стадії обробки перевіряють згідно з міцністю механізмів верстата. Якщо вибрана подача не задовольняє цим умовам, то необхідно вибрану за нормативними даними подачу зменшити до величини, яка допустима міцністю механізму верстата. Подачу, вибрану для чистової та завершальної стадії обробки, перевіряють за умовами отримання потрібної шорсткості. В кінцевому випадку вибирають меншу з подач [26].

При аналітичному розрахунку режимів різання подачу для кожної стадії обробки визначають за емпіричними формулами, після чого за необхідності отримане значення подачі перевіряють згідно з обмежуючими факторами (жорсткістю технологічної системи, жорсткістю інструменту тощо) [26].

Швидкість різання розраховують за формулами теорії різання (розрахунково-аналітичний метод) або встановлюють за нормативами режимів різання (дослідно-статистичний метод) [18–20]. При аналітичному розрахунку швидкості різання орієнтуються на економічну стійкість різального інструменту. При табличному методі швидкість різання вибирають у відповідності з раніше визначеними параметрами інструменту, глибиною різання та подачею. Швидкість різання за видами робіт і типами інструментів у нормативах дана на обробку сталей конструкційних вуглецевих і легованих, сталей жароміцних, корозійно стійких, жаростійких, чавуну сірого і кувального та алюмінієвих сплавів. Вибрану за відповідними картами з нормативів [18–20] швидкість різання коректують поправними коефіцієнтами з відповідних карт в залежності від граничних факторів. За швидкістю різання визначають частоту обертання шпинделя (або число подвійних ходів стола, повзуна). Ці величини узгоджують з паспортними даними верстата і приймають ближчі менші. За прийнятою частотою обертання шпинделя (подвійних ходів повзуна) визначають дійсну швидкість різання.

Режими різання на чорнових операціях повинні перевірятись за потужністю двигуна верстата або допустимим обертальним моментом. Потужність, аналогічно подачі та швидкості різання, теж визначається двома методами: табличним і аналітичним. При табличному методі потужність різання визначають за картами з нормативів [18–20] в залежності від матеріалу, який обробляється, глибини різання, подачі, виду обробки тощо. Вибрана за довідковими картами потужність різання коректується поправними коефіцієнтами з відповідних карт в залежності від граничних факторів.

Після визначення таким чином потужності різання $N_{різ}$ її перевіряють за паспортними даними верстата. Необхідно, щоб витримувалась нерівність:

$$N_{різ} \le N_{шп}$$

при тому, що потужність на шпинделі:

$$N_{шп} = N_{дв.} \cdot \eta,$$

де η – коефіцієнт корисної дії верстата.

Якщо $N_{різ} < N_{шп}$ – обробка можлива, а якщо вибрані режими обробки не допускаються потужністю верстата, то необхідно їх відповідно зменшити або прийняти інший верстат, коли це можливо.

При аналітичному методі потужність різання в залежності від виду обробки визначається за емпіричними формулами, після чого її перевіряють за паспортними даними верстата аналогічно, як при табличному методі.

При роботі на свердлильних верстатах визначають обертальний момент та осьову силу. При табличному методі визначення режимів різання обертальний момент $M_{об}$, та осьову силу P_o визначають за таблицями (картами) з нормативів [18–20] в залежності від виду обробки. При аналітичному методі для цього використовують емпіричні формули [24, 30]. За отриманими значеннями $M_{об}$ та P_o перевіряють, порівнюючи з паспортними даними верстата, чи можлива обробка при знайдених режимах різання.

Розглянута послідовність характерна для одноінструментальної обробки. Для різних верстатів вона конкретизується окремими специфічними особливостями методів обробки. Конкретні методи розрахунку режимів різання наведено в довідковій літературі [30, 31].

При розрахунку режимів різання для багатоінструментної обробки необхідно враховувати деякі особливості.

Внаслідок розбіжностей в конструкції інструментів та умов роботи в одному налагодженні стійкість їх буде різною. Інструмент, для якого стійкість виражена в кількості деталей, оброблюваних до затуплення, буде найменшою, називається лімітуючим.

А тому для кожного налагодження багатоінструментального верстата, перш за все, визначають лімітуючий інструмент. Найвигідніший період стійкості лімітуючого інструменту, виражений в хвилинах машинного часу, повинен бути значно більшим порівняно з одноінструментною обробкою. Далі розрахунки ведуться аналогічно, як і для одноінструментної обробки, але для лімітуючого інструменту.

Швидкості різання для решти інструментів налагодження не будуть оптимальними, вони визначаються наявним числом обертів та відповідним діаметром обробки.

Необхідно зазначити, що в залежності від конкретних умов механічної обробки, від типу верстатів та кількості інструментів розрахунок режимів має свої особливості. Тому користуючись загальною методикою розрахунків режимів різання, необхідно користуватись спеціальною літературою та довідниками [30, 31].

12.5.9. Нормування операцій

Нормування в машинобудуванні – це встановлення технічно обгрунтованих норм часу. Нормування технологічних процесів виконують для кожної операції.

Технічною нормою часу називають час, необхідний для виконання технологічної операції в певних організаційно-технічних умовах конкретного виробництва.

Технічною нормою виробітку називають величину, обернену нормі часу Виражають її кількість виробів, які виготовляють за одиницю часу.

Розрізняють три методи нормування: технічного розрахунку; за нормативами; встановлення норм на основі вивчення затрат робочого часу. При першому методі тривалість операцій встановлюють розрахунком за мікроелементами на основі

аналізу послідовності та змісту дій робітника і верстата. При другому методі норму часу визначають наближено, за підвищеними типовими нормативами. Його застосовують в одиничному і дрібносерійному виробництві. При третьому методі норму часу встановлюють на основі хронометражу. Цей метод має особливе значення для вивчення і узагальнення передових прийомів праці, а також для розробки норм розрахунком.

Найбільш обгрунтованим є перший метод, згідно з яким норма часу, незалежно від типу верстата і методу обробки, визначається за формулою:

$$t_{шт} = t_o + t_д + t_{тех} + t_{орг} + t_n,$$

де $t_{шт}$ – штучний час для виконання однієї операції, хв;

t_o – основний (технологічний) час, хв;

$t_д$ – допоміжний час, хв;

$t_{тех}$ – час технічного обслуговування робочого місця, хв;

$t_{орг}$ – час організаційного обслуговування робочого місця, хв;

$t_п$ – час перерв у роботі, хв.

Основний технологічний час визначають розрахунком для кожного технологічного переходу:

$$t_o = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{n \cdot S} \cdot \frac{Z}{t}, \text{ хв},$$

де Z – припуск на обробку для даного переходу;

t – глибина різання, тобто товщина шару матеріалу, що зрізається за один прохід;

l_1 – розмір поверхні, що обробляється, в напрямку подачі для конкретної операції (при одноінструментній обробці) – величина постійна, визначається з креслення деталі;

l_2 – величина врізання та перебігу інструменту. В більшості випадків величина l_2 порівняно невелика, хоча бувають виключення, наприклад, при малій величині l_1 або при великому значенні t зубофрезерування, чистова обробка торцьовою фрезою;

l_3 – додаткова довжина на зняття пробної стружки, l_3 = 12…15 мм; при налагодженому верстаті, коли забезпечується отримання потрібного розміру $l_3 = 0$.

Таким чином, з формули для визначення основного часу виходить, що L, тобто повний шлях інструменту чи деталі в напрямку подачі (для конкретного переходу) – величина постійна. Мінімальне значення основного часу (максимальна продуктивність) досягається при оптимальному співвідношенні n і S, тобто у випадку, коли хвилинна подача $S_{хв} = Sn$, в мм/хв, буде максимальною.

Конкретно за видами обробки формули для визначення основного часу наведено в довідниках [30, 31].

Допоміжний час – це час на дії, що створюють можливість виконання основної роботи. Сюди відносяться:

– встановлення та зняття заготовки;

– час пов’язаний з переходом, тобто підведення до заготовки інструмента і відведення його у початкове положення, вмикання і вимикання верстата;

– підведення та відведення супорта;

– зміна інструменту;

– контроль деталі.

Допоміжний час встановлюється для кожного технологічного переходу за нормативами [15–18].

Суму основного і допоміжного часу називають оперативним часом:

$$t_{оп} = t_о + t_д.$$

Допоміжний час може бути перекриваним і неперекриваним основним часом, частково перекриваним і неперекриваним.

Час технічного обслуговування робочого місця також надається для догляду за робочим місцем, але тут враховуються такі дії:

– розклад і прибирання інструменту на початку і в кінці зміни;

– огляд і випробовування обладнання;

– змащування та очищення верстата.

Час організаційного обслуговування робочого місця встановлюється у відсотках (до 8 %) від оперативного часу, час перерв роботи встановлюється у відсотках 2,5 % від оперативного часу. Конкретний відсоток часу технічного і організаційного обслуговування, а також часу перерв встановлюють за нормативами [17] і визначають в цілому на операцію. Ці складові штучного часу завжди неперекривані.

При послідовному виконанні переходів для визначення оперативного часу необхідно підсумовувати всі основні та допоміжні часи по всіх переходах даної операції і тільки після цього визначати інші складові норми штучного часу.

При паралельному виконанні переходів основний і допоміжний час на операцію беруть за найтривалішим переходом обробки. Всі перекривані основним часом елементи допоміжного часу до норми штучного часу не входять.

У серійному виробництві визначають норму калькуляційного часу:

– для партії деталей:

$$T_к = t_{п.з.} + t_{шт} \cdot n;$$

– для однієї деталі:

$$t_к = t_{п.з.}/n + t_{шт},$$

де n – кількість деталей партії;

$t_{п.з.}$ – підготовчо-заключний час, що встановлюється за нормативами і який враховує такі дії: отримання матеріалів, ознайомлення з роботою, технологічною документацією, кресленням, одержання відповідного інструктажу, встановлення технологічного оснащення на верстат, налагодження його; зняття пристроїв та інструменту у кінці зміни; здавання готової продукції, залишків матеріалів по закінченню роботи; $t_{п.з.}$ дається на партію, а не на деталь.

При нормуванні в кожному конкретному випадку необхідно користуватись довідковою літературою [15–18].

Розряд роботи для кожної операції встановлюють за тарифно-кваліфікаційним довідником на підставі змісту і характеру роботи, що виконується.

12.5.10. Оформлення технологічної документації

При розробці технологічного процесу виготовлення деталі оформляють технологічну документацію у відповідності з вимогами ЄСТД. Склад технологічних документів, що використовуються в курсових і дипломних проектах при розробці технологічного процесу виготовлення деталі, наведено в додатку 34.

Нижче розглядаються специфічні вимоги щодо оформлення вказаних документів для операцій обробки різанням.

Правила запису операцій та переходів обробки різанням (див. додаток 35) регламентовані державним стандартом.

Найменування операцій обробки різанням (див. додаток 36) повинно відображати

застосовуваний вид обладнання і записуватись прикметником у називному відмінку, наприклад, “Агрегатна”, “Автоматно-лінійна”, “Зубострогальна” тощо.

Запис змісту операцій (див. додаток 35) виконують у формі маршрутного чи операційного опису. Перший застосовують в одиничному і дослідному виробництві на відповідних формах маршрутних карт (МК), другий – в масовому і серійному виробництві. Допускається застосування операційного опису в одиничному і дослідному виробництвах.

В зміст операції (переходу) повинно бути включене:

– ключове слово (див. додаток 37), яке характеризує метод обробки, виражене дієсловом у невизначеній формі, наприклад, точити, фрезерувати, свердлити тощо;

– найменування оброблюваної поверхні, конструктивних елементів чи об’єктів виробництва (додаток 38);

– інформація по розмірах чи їх умовних позначеннях;

– додаткова інформація (додаток 39), яка характеризує кількість одночасно чи послідовно оброблюваних поверхонь, характер обробки, наприклад, попередньо, одночасно, по копіру тощо.

При записі змісту операції (переходу) допускається повна чи скорочена форма запису (див. додаток 35). Повний запис необхідно виконувати за відсутності графічних зображень, наприклад, карти ескізів, і для комплексного відображення дій, що виконуються виконавцем чи виконавцями. Скорочений запис необхідно виконувати за наявності графічних зображень, які достатньо повно відображають всю необхідну інформацію по обробці різанням. В цьому випадку в записі змісту операції (переходу) додаткова інформація не вказується.

Форми і правила оформлення маршрутних карт при розробці технологічних процесів виготовлення деталі (форма № 1) встановлені державним стандартом. Карти технологічного процесу (КТП) і операційні карти (ОК) оформляють також у відповідності з державним стандартом.

Приклади оформлення МК і ОК виготовлення деталей наведені в додатках 40 і 41.

При заповненні текстових документів (МК, ОК чи КТП) розробляють ескізи окремих технологічних операцій обробки різанням на аркушах графічної частини проектів чи в пояснювальній записці на картах ескізів (КЕ) (форма 5, див. додаток 41).

Загальні вимоги щодо оформлення ескізів розглянуті вище (див. пп. 2.2.5 і 2.5.7). Технічні вимоги на ескізах, а також таблиці складають за державним стандартом.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Перелічіть основні етапи розробки технологічного процесу виготовлення деталей.
2. Як формулюється службове призначення деталі?
3. Як розробляються технічні вимоги на параметри точності деталі?
4. У яких напрямках проводиться критичний аналіз технічних вимог до деталі?
5. Як вибирається та обгрунтовується матеріал деталі та термічна обробка?
6. Наведіть структуру повного конструкторсько-технологічного коду деталі.
7. Як визначається тип виробництва та форма організації технологічного процесу?
8. У яких напрямках проводиться аналіз технологічності конструкції деталі? Які основні вимоги по цих напрямках?

9. Наведіть основні положення методики вибору способу виготовлення заготовок деталей.

10. Як провадиться виявлення і аналіз розмірних зв'язків поверхонь деталей?

11. Що є основою формулювання основних технологічних задач, які потрібно розв'язати при розробці технологічного процесу виготовлення деталі?

12. Наведіть принципову схему маршруту обробки деталі, коротко охарактеризуйте її основні положення.

13. Сформулюйте правила вибору чорнових баз, охарактеризуйте роль першої операції технологічного процесу виготовлення деталі.

14. Сформулюйте правила вибору чистових баз.

15. Що розуміють під принципом "суміщення баз"?

16. Які умови потрібно виконати за неможливості використання принципу "суміщення баз"?

17. Наведіть послідовність вибору варіанта базування7.

18. Що розуміють під "уточненням обробки"? Як за допомогою цього параметра призначається маршрут обробки поверхні?

19. Наведіть методику розробки маршрутів обробки поверхонь (МОП) за допомогою використання типових планів обробки поверхонь.

20. Наведіть правила розробки маршруту обробки деталі (МОД).

21. Що розуміють під логічною оцінкою варіантів МОД?

22. Які основні пристрої використовуються при логічній оцінці варіантів МОД?

23. Наведіть методику перевірки забезпечення точності розмірів по варіанту МОД.

24. Сформулюйте правила формування раціональної структури операції.

25. Що розуміють під "розмірним аналізом технологічного процесу"?

26. В якій послідовності виконується елементарний розмірний аналіз технологічного процесу (ЕРАН ТП)?

27. В якій послідовності провадиться повний розмірний аналіз технологічного процесу (РАН ТП)?

28. Наведіть методику розрахунково-аналітичного визначення припусків на механічну обробку.

29. Сформулюйте правила визначення допусків на розміри в технологічних операціях.

30. Наведіть методику розробки розмірної схеми лінійних розмірів технологічного процесу та виявлення розмірних ланцюгів.

31. Наведіть методику розробки розмірної схеми діаметральних розмірів технологічного процесу та виявлення розмірних ланцюгів.

32. Наведіть методику розробки розмірної схеми відхилень розташування поверхонь технологічного процесу, та виявлення розмірних ланцюгів.

33. Наведіть методику розробки комбінованої розмірної схеми технологічного процесу та виявлення розмірних ланцюгів.

34. Наведіть методику побудови граф-дерева технологічного процесу та виявлення розмірних ланцюгів.

35. Наведіть алгоритм розв'язання технологічних розмірних ланцюгів при визначенні граничних значень припусків на операцію.

36. Наведіть алгоритм розв'язання технологічних розмірних ланцюгів при визначенні технологічних розмірів та їх граничних відхилень.

37. За якими правилами вибирається технологічне обладнання?

38. За якими правилами вибирається технологічне оснащення (пристрої)?

39. За якими правилами вибирається різальний та допоміжний інструмент?

40. За якими правилами вибираються засоби технічного контролю якості деталей?

41. Наведіть методику вибору засобів механізації та автоматизації технологічних процесів.

42. Наведіть методику вибору розмірного налагодження технологічної системи.

43. Наведіть методику проектування схем інструментального налагодження.

44. Наведіть методику розрахунку режимів різання.

45. Наведіть методику нормування операцій технологічного процесу.

46. Сформулюйте загальні вимоги щодо оформлення технологічної документації.

47. Охарактеризуйте елементний метод визначення економічної ефективності технологічного процесу.

48. Охарактеризуйте метод оцінки економічної ефективності варіанта технологічного процесу за приведеними затратами.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева и Г.В. Митрофанова. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.

2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Кн. 1, 2. – М.: Машиностроение, 1982. – 736 с.

3. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. – К. 1993. – 544 с.

4. Боровик А.І. Проектування технологічного оснащення. – К. 1996. – 488 с.

5. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник. – М.: Машиностроение, 1973. – 303 с.

6. Допуски и посадки: Справочник / Мягков В.Д., Палей М.А., Романов А.Б. и др. / – Л.: Машиностроение, 1983. – 448 с.

7. Иващенко Н.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. – М.: М., 1975. – 222 с.

8. Комиссаров В.И., Леонтьев В.И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

9. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Под ред. А.Ф. Горбацевича. – Минск: Высшая школа, 1983. – 288 с.

10. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 495 с.

11. Матвеев В.В. и др. Размерный анализ технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.

12. Металлорежущие станки: Каталог-справочник: В 5-ти частях. – М.: НИИМАШ, 1965. – 1972 с.

13. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства: В 2-х т. – Л.: Машиностроение, 1983. – Т. 1. Организация группового производства. – 408 с.

14. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.

15. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение,

1974. – 135 с.

16. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания на работы, выполняемые на металлорежущих станках с программным управлением. – М.: ЦБНТИ, 1980. – 32 с.

17. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1974. – 260 с.

18. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ. Выпуски на все виды резания. – М.: Машгиз и Машиностроение, 1969–1976. – 267 с.

19. Отделочные операции в машиностроении: Справочник / Под общ. ред. П.А. Руденко. – К.: Техніка, 1990. – 150 с.

20. Оформлення технологічних документів у курсових і дипломних проектах / Укл. Руденко П.О. – ЧІТІ, 1993. – 64 с.

21. Размерный анализ конструкций: Справочник / Под общ. ред. С.Г. Бондаренко. – К.: Техніка, 1989. – 150 с.

22. Размерный анализ технологических процессов обработки / Под общ. ред. Н.Г. Фридлендера Л.: Машиностроение, 1987. – 141 с.

23. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / Под ред. К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, 1990. – 488 с.

24. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів. – К.: Вища школа, 1993. – 414 с.

25. Руденко П.О., Харламов Ю.О., Шустик О.Г. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин. – К. 1993.

26. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування. Луцьк, 1996. – 300 с.

27. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.

28. Справочник инструментальщика / Ординарцев И.А., Филиппов Г.В., Шевченко А.Н. и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

29. Справочник контролера машиностроительного завода. Допуски, посадки, линейные измерения / Под ред. А.И. Якушева. – М.: Машиностроение, 1980. – 527 с.

30. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с., Т. 2. – 496 с.

31. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Н. Малова. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.

32. Станочные приспособления: Справочник: В 2-х т. / Под ред. Б.Н. Вардашкин. – М.: Машиностроение. 1984. – 656 с.

33. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 256 с.

34. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

35. Технология машиностроения / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.

36. Филипов Г.В. Режущий инструмент. – Л. Машиностроение, 1981. – 392 с.

Тема 13. Проектування уніфікованих технологічних процесів

13.1. Сутність, значення та область застосування уніфікованих технологічних процесів

Технологічне проектування багато в чому визначає рівень, якість та собівартість виробів, що випускаються. Не випадкове тому прагнення технологів до деталізації технологічних розробок. Однак у багатономенклатурному виробництві деталізація технологічних рішень неможлива, оскільки при цьому різко зростає трудомісткість технологічної підготовки, що підвищує собівартість продукції. У той же час в усіх типах виробництва багато інженерної праці витрачається на вирішення однотипних завдань, які повторюються при переході від однієї деталі до іншої. Виходом з цього становища є уніфікація технологічних процесів, яка дає змогу економити інженерну працю та організовувати багатономенклатурне виробництво на якісно новій основі, що наближається до основ масового виробництва.

Основними напрямками технологічної уніфікації, що знайшли широке признання та застосування, є типізація технологічних процесів і груповий метод обробки деталей. Обидва напрямки цілком самостійні, але дозволяють в різних умовах розв'язувати одну загальну задачу уніфікації технологічних процесів і технологічного оснащення і доповнюють один одного.

Типові процеси розробляються на виготовлення однотипних чи стандартних деталей і застосовуються головним чином у великосерійному чи масовому виробництві.

Групові технологічні процеси використовуються в умовах одиничного, дрібносерійного, серійного і ремонтного виробництва. Частково вони застосовуються (для деталей з коротким виробничим циклом) і в умовах великосерійного і масового виробництв.

Основою технологічної уніфікації є класифікація деталей та їх поверхонь. З цього і повинна починатись організація підготовки виробництва на науковій основі. Розробка уніфікованих технологічних процесів тісно пов'язується з організацією виробництва. Тільки при комплексному розв'язанні цих питань можуть бути досягнуті високі економічні показники: зниження собівартості продукції, збільшення обсягів продукції з одиниці обладнання, прискорення оборотності коштів тощо.

В свою чергу, технологічна уніфікація сприяє розв'язанню основних задач раціональної організації виробництва, особливо в умовах дрібносерійного і серійного виробництва: впровадженню потокових методів, створенню замкнених ділянок і автоматичних ліній, кооперуванню і спеціалізації виробництва.

Технологічна уніфікація забезпечує різке скорочення різного роду допоміжних робіт, пов'язаних з оформленням технологічної, планової, облікової та інших видів документації, що необхідна для підготовки виробничого процесу і керування ним. Вона відкриває широкі можливості для застосування обчислювальної техніки, яку можна використовувати для розв'язання як технологічних задач (класифікації деталей, вибору оптимальної конструкції оснащення, оптимального варіанта технологічного процесу тощо), так і задач технічного нормування, обліку, планування тощо.

Детально розроблена технологічна уніфікація дозволяє створювати (після узагальнення накопиченого досвіду) не тільки типові та групові, але й стандартні технологічні процеси.

13.2. Проектування типових технологічних процесів

Ідею типізації технологічних процесів запропонував і розробив доктор технічних наук, професор А.П. Соколовский. Створена ним методика типізації технологічних процесів базується на класифікації процесів, в основі якої лежить класифікація деталей.

Основне завдання класифікації та типізації полягає у приведенні всього різноманіття деталей, поверхонь та їх з'єднань до мінімальної кількості типів, для яких можна розробити типові технологічні процеси обробки в декількох варіантах, щоб для будь-якого конкретного випадку обробки деталі, окремої поверхні або з'єднання поверхонь даного типу можна було вибрати найбільш раціональний типовий процес.

При типізації технологічних процесів основою є конструкторська класифікація (по типах), а технологічна класифікація є лише вторинною. Тому, перш ніж приступити до розробки типових процесів, необхідно розбити деталі машин на класи по спільності технологічних задач, що розв'язуються при їх виготовленні.

Найбільш поширене розбиття деталей на такі класи: *вали*, в тому числі осі, штоки, пальці, штирі; *втулки*, в тому числі гільзи, вкладиші; *диски*, в тому числі кільця, маховики, шківи; *ексцентричні деталі*, в тому числі колінчасті вали; *хрестовини; важелі*, в тому числі шатуни, тяги, серги; *площинні деталі*, в тому числі плити, рами, станини, столи, планки тощо; *зубчасті колеса; черв'яки*; *стояки* та інше.

Кожен клас деталей поділяється на групи, підгрупи і типи. На рис. 13.1 показано загальну схему класифікації деталей, а на рис. 13.2 – класифікацію деталей класу кронштейнів, з яких видно, що число типів і типових технологічних процесів може бути нескінченно великим.

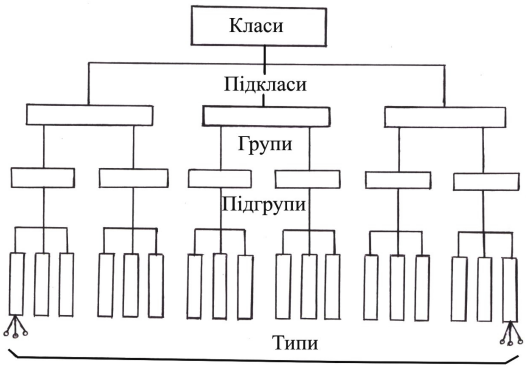


Рис. 13.1. Класифікація деталей при типізації технологічних процесів

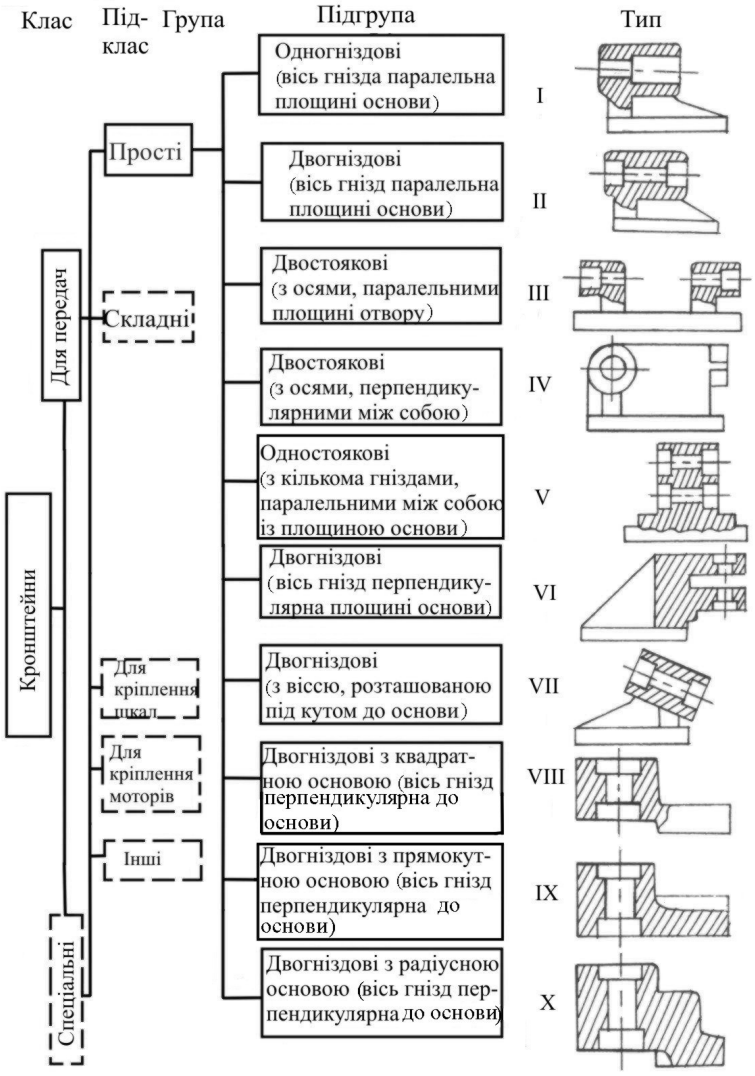


Рис. 13.2. Класифікація деталей класу кронштейна

Типова деталь об'єднує сукупність деталей, що мають однаковий план (маршрут) операцій, які здійснюються на однорідному обладнанні із застосуванням однотипних пристроїв та інструменту. Типову деталь називають *представником групи* і до неї належить, як правило, виріб, обробка якого потребує найбільшої кількості основних і допоміжних операцій, характерних для виробів даної групи. Для типової деталі (представника) розробляють технологічний процес зі встановленням типової послідовності операцій, типових схем базування і типових конструкцій оснащення.

Після класифікації деталей за конструктивними ознаками, типовий технологічний процес розробляється звичайно за трьома напрямками:

– типізація технологічних процесів обробки окремих поверхонь;

– типізація технологічних процесів обробки сполучень поверхонь;

– типізація технологічних процесів обробки деталей.

Ознаками класифікації елементарних поверхонь є: форма і розміри поверхні, потрібна шорсткість та точність, матеріал заготовки. Розрізняють плоскі, циліндричні, зовнішні та внутрішні, фасонні та інші поверхні, для яких в залежності від їх габаритних розмірів, точності та шорсткості призначають типові маршрути обробки поверхонь (ТМОП). Типові МОП використовують на наступному етапі типізації.

Під типовим розуміють таке поєднання поверхонь різних деталей, при якому всі елементарні поверхні можуть бути оброблені при незмінній технологічній базі на одних і тих же верстатах, однаковим інструментом при однаковому змісті та послідовності операцій, встановлень та переходів. Ознаками класифікації типових з'єднань поверхонь є: конфігурація окремих поверхонь; взаємне розташування; точність обробки окремих поверхонь та точність їх взаємного розташування; розміри окремих поверхонь; матеріал оброблюваної заготовки.

При типізації технологічних процесів обробки типових з'єднань поверхонь складають план обробки такого з'єднання за операціями в декількох можливих варіантах, встановлюють послідовність переходів для кожної операції, визначають тип різального і вимірювального інструменту для окремих переходів. Прикладами типових процесів обробки з'єднань поверхонь можуть бути процеси обробки поверхонь: концентричних зовнішніх та внутрішніх обертання; ексцентрично розташованих; взаємно перпендикулярних або паралельних; співвісно оброблюваних отворів з точними відстанями між ними тощо. Типові технологічні процеси обробки з'єднань поверхонь використовують на завершальному етапі – при розробці типових технологічних процесів обробки деталей (типів, представників).

Ознаками класифікації деталей для розробки типового технологічного процесу їх обробки є: конфігурація деталі, її габаритні розміри, точність обробки та якість оброблюваних поверхонь, матеріал.

На базі типових технологічних процесів розробляють технологічні процеси обробки конкретних деталей. З удосконаленням технології виробництва типові технологічні процеси треба періодично переглядати.

До документації типових технологічних процесів належать класифікатор деталей і типові процеси обробки поверхонь, з'єднань поверхонь, деталей (типів, представників).

Основні етапи розробки типових технологічних процесів, завдання, що розв'язуються на кожному етапі, та основні документи, які забезпечують розв'язання цих завдань, наведені в табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Основні етапи розробки типових технологічних процесів

№ етапу	Зміст етапу	Завдання, які розв'язуються на етапі	Основні документи, що забезпечують розв'язання завдань
1	2	3	4
1	Класифікація деталей	Створення груп деталей, що мають спільні конструктивно-технологічні характеристики. Вибір типових представників груп	Методика класифікації. Класифікатори об'єктів виробництва

Закінчення табл. 13.1

1	2	3	4
2	Кількісна оцінка груп об'єктів ви-робництва	Визначення типу виробництва для кожного типового представника групи	Специфікація конструкторських документів. Планові завдання
3	Аналіз конструкцій типових представників за кресленнями і технічними умовами, програмою випуску і типом виробництва	Розробка основних маршрутів виробництва, включаючи заготівельні процеси	Робочі креслення і технічні умови на об'єкти виробництва. Діючі типові технологічні процеси для даного класу деталей
4	Вибір заготовки і методів її виго-товлення	Визначення виду вихідної заготовки і вибір методу її виготовлення	Класифікатор заготовок. Методика економічної оцінки вибору заготовки
5	Вибір технологічних баз	Вибір поверхонь базування. Оцінка точності та надійності базування	Класифікатор способів базування. Методика вибору технологічних баз
6	Вибір виду і методів обробки (лиття, обробка тиском, механічна обробка різання тощо)	Вибір виду обробки. Оцінка точнісних характеристик та якості поверхонь. Вибір методу обробки	Класифікація виробів та операцій. Методика оцінки точності та якості поверхонь деталей
7	Складання технологічного маршруту обробки	Визначення послідовності операцій. Визначення груп обладнання за операціями	Класифікатори та каталоги технологічного обладнання
8	Розробка технологічних операцій	Вибір структури операції та її раціональна побудова Встановлення раціональної послідовності переходів в операції. Вибір технологічного обладнання і розрахунок його завантаження. Вибір конструкцій оснащення Розрахунок загальних і операційних припусків. Розрахунок режимів обробки та норм часу. Визначення розряду робіт і професій виконавців	Моделі розвитку структур в операціях типового техно-логічного процесу Методика встановлення раціональної послідовності переходів. Стандарти та класифікатори технологічного обладнання і оснащення. Таблиці технологічних компонувань верстатів для різних методів обробки Стандарти і класифікатори технологічного оснащення
9	Розрахунок точ-ності, продуктивності та економічної ефективності ва-ріантів типових технологічних процесів	Вибір оптимального варіанта	Методики та стандарти з розрахунку припусків, режимів обробки і норм часу Тарифно-кваліфікаційні довідники Методика розрахунку економічної ефективності Методика розрахунку точності
10	Оформлення типових технологічних процесів	Узгодження типових тех-нологічних процесів з усіма зацікавленими службами та затвердження їх	Стандарти ЄСТД і стандарти підприємства з ТПП

Як правило, розробляють декілька варіантів типових технологічних процесів. Для кожного варіанта встановлюють техніко-економічні межі його застосування, тобто максимальний і мінімальний обсяги виготовлення виробів, у межах яких даний варіант забезпечує найвищий економічний ефект.

13.3. Груповий метод обробки деталей

13.3.1. Загальна характеристика групового методу

Груповий метод – це такий метод уніфікації технології виробництва, при якому для груп однорідної за тими чи іншими конструктивно-технологічними ознаками продукції встановлюються однотипні високопродуктивні методи обробки з використанням однорідних і швидкопереналагоджуваних знарядь виробництва. При цьому забезпечується економічна ефективність виробництва, необхідна швидкість його підготовки і переналагодження обладнання.

Груповий метод виробництва безпосередньо зв'язаний з уніфікацією конструкцій машин, приладів та їх елементів, оскільки в основі уніфікації технології лежить класифікація продукції. Він зв'язаний також з організацією та економікою виробництва, оскільки істотно визначає виробничу структуру цехів і дільниць, системи нормування, планування та обслуговування. Чим вищий рівень уніфікації технології на базі групового методу, тим простіші та раціональніші організаційні форми виробництва, і тим більше наближаються вони до вищої форми організації виробництва – безперервного потоку.

Разом з тим, удосконалення організації виробництва висуває особливі вимоги до групового методу.

Найбільш загальні задачі, що вирішуються груповим методом виробництва, зводяться до спеціалізації, технологічної концентрації у вигляді багатоінструментальної та багатопредметної обробки, до суміщення часу виконання основних і допоміжних елементів роботи тощо.

Принциповими основами групового методу виробництва є: методика класифікації та групування деталей, видів робіт і технологічних процесів; методика класифікації та конструювання групових пристроїв та іншого технологічного оснащення; цільова модернізація та спеціалізація обладнання; впровадження групових потокових і автоматичних ліній. Крім того, при груповому методі по-новому вирішуються питання технологічного нормування та організації виробництва.

Впровадження групової обробки потребує проведення великої підготовчої роботи, яка включає: класифікацію деталей (їх групування), розробку технологічного процесу для групи деталей, проектування групового технологічного оснащення, модернізацію обладнання та створення спеціалізованих верстатів, організацію групових потоків і групових автоматичних ліній, розробку системи оперативно-календарного планування.

13.3.2. Класифікація та кодування деталей

Однією з основних задач, від успішного розв'язання якої в багатьох залежить рівень технічної підготовки виробництва, є вибір методу і схеми класифікації та кодування деталей. Правильна їх побудова має визначальне значення не тільки для упорядкування конструкторсько-технологічних розробок, стандартизації та уніфікації технологічних процесів, але й для визначення найбільш раціональних та економічних форм організації виробництва.

Завданням кожної класифікації є встановлення ознак, необхідних для групування об'єктів, що класифікуються, чи визначення їх властивостей та характерних

особливостей.

Незважаючи на різноманіття та різницю конструкцій деталей машин і приладів, в своїй основі вони мають велику кількість споріднених ознак: конструктивних (геометричних), розмірних, точнісних, технологічних (спільність операцій, маршрутів обробки) тощо. Систематизуючи їх, можна виявити і визначити якісь загальні ознаки і класифікувати деталі по групах.

Для групового методу обробки класифікація деталей та їх поверхонь здійснюється за конструктивно-технологічними ознаками із врахуванням спільності обладнання, налагодження та інструментального оснащення.

Існує декілька систем класифікації та кодування деталей, а саме: ЄСКД, технологічний класифікатор, ЄСТПВ. Крім перелічених, існують системи класифікації на рівні галузі (Техархів, Группроект, Тис-82) і підприємства. Причому при груповому методі технологічна класифікація є основною, а конструкторська – вторинною.

В результаті класифікації деталям звичайно присвоюють певний класифікаційний шифр, що прискорює пошук за заданими ознаками.

Для автоматизації проектування технологічного процесу вся якісна та кількісна інформація повинна бути представлена у вигляді, зручному для введення у запам’ятаючий пристрій ЕОМ, наступної обробки і видачі результатів рішень на друк у формі різних документів. Для цього повинна бути розроблена відповідна система кодування інформації. В залежності від характеру інформації застосовують два види кодування: з використанням кодових таблиць і з використанням спеціальної формалізованої мови.

В систему кодування першого виду входять перелік вихідних даних та обмежень по них, спеціальні таблиці кодових позначень та інструкція по кодуванню. В цьому випадку дані креслення конкретної деталі заносяться в кодувальну відомість у строго певній послідовності. Цю систему кодування доцільно застосовувати при розв’язанні задач, зв’язаних з автоматизацією проектування технологічних процесів.

В системах другого виду кодування здійснюється за допомогою спеціально розробленої для цієї мети мови. Вихідні дані про деталь (змінна інформація), записані в термінах прийнятої мови, складають мовний опис об’єкта. Ці системи кодування раціонально застосовувати при розв’язанні різних задач, пов’язаних з інформаційним пошуком.

13.3.3. Групування деталей

Використовуючи розроблені системи кодування та класифікації деталей, можна виявити загальні ознаки і звести деталі в певні конструктивно-технологічні групи.

Групою (операційною) називають сукупність деталей, що характеризується при обробці спільністю обладнання, оснащення, налагодження і технологічного процесу (операційного). При створенні груп приймаються до уваги габарити деталі, оскільки вони визначають типаж обладнання і розміри технологічного оснащення. Крім того, враховується: їх геометрична форма, спільність поверхонь, що підлягають обробці, точність та шорсткість оброблюваних поверхонь, однорідність заготовок, серійність випуску, економічність процесу.

Практика показала, що об’єднання деталей тільки за конструктивно-технологічними ознаками не забезпечує повного використання можливостей

групового методу. Необхідно приділяти велику увагу і організаційно-плановим питанням. При груповому виробництві група деталей характеризується єдністю в конструкторському, технологічному (спільність технології), інструментальному (спільність оснащення) і організаційно-плановому (єдине планування та організація виробництва) розумінні.

Необхідно відмітити, що створення груп деталей – найбільш відповідальний процес, який потребує певних технічних знань та навичок.

Створення уніфікованих (групових) процесів виготовлення деталей може базуватись на різних методах їх групування:

– за конструктивно-технологічною подібністю деталей; найбільш типовими сукупностями в цьому випадку є групи шестерень, втулок, валиків, шпинделів тощо;

– за елементарними поверхнями деталей, що дозволяє встановлювати варіанти обробки цих поверхонь, а із комбінації елементарних процесів одержати технологічний процес обробки будь-якої деталі;

– за переважаючими видами обробки деталей (типами обладнання), єдності технологічного оснащення і спільності налагодження верстата.

У всіх випадках враховується призначення, конструкція, точність розмірів і шорсткість оброблюваних поверхонь, спільність розв'язання основних технологічних задач, подібність маршрутів обробки, однорідність заготовок, обсяг випуску тощо.

Груповий метод дозволяє використання всіх вказаних методів групування деталей, якщо вони доцільні в умовах даного виробництва. На одному й тому ж самому підприємстві можна застосовувати декілька чи всі методи класифікації та групування деталей і процесів. Цим і визначається універсальність групового методу.

В умовах серійного і дрібносерійного виробництв найбільше поширення має метод групування деталей по застосовуваному для обробки типу обладнання, єдності технологічного оснащення і спільності налагодження верстата.

Групування деталей для побудови групових процесів рекомендується виконувати по спільності маршрутних групових процесів, групових деталеоперацій.

Принципи класифікації деталей для багатоопераційної обробки мають свої характерні особливості при збереженні основної ознаки – спільності обладнання, технологічного оснащення, налагодження верстата – і загальної схеми технологічного процесу.

Групування охоплює реальні деталі певної конструкції, що значаться в номенклатурі випуску. В ряді випадків створюються комплексні (умовні) деталі, що мають всі геометричні елементи деталей даної групи. Комплексною може бути і реальна деталь, якщо вона є найбільш складною в даній групі і має всі основні елементи комплексної деталі. Під основними елементами розуміються поверхні, що визначають конфігурацію деталі, і технологічні задачі, що вирішуються в процесі обробки. Основні елементи – головна ознака для віднесення деталі до того чи іншого класифікаційного підрозділу.

Комплексна деталь служить основою при розробці групового процесу і групового оснащення – сукупності пристроїв та інструментів, що забезпечують обробку всіх деталей даної групи при незначних підналагодженнях обладнання. Отже, розроблений на комплексну деталь технологічний процес з незначними підналагодженнями обладнання повинен забезпечити виготовлення будь-якої деталі даної групи.

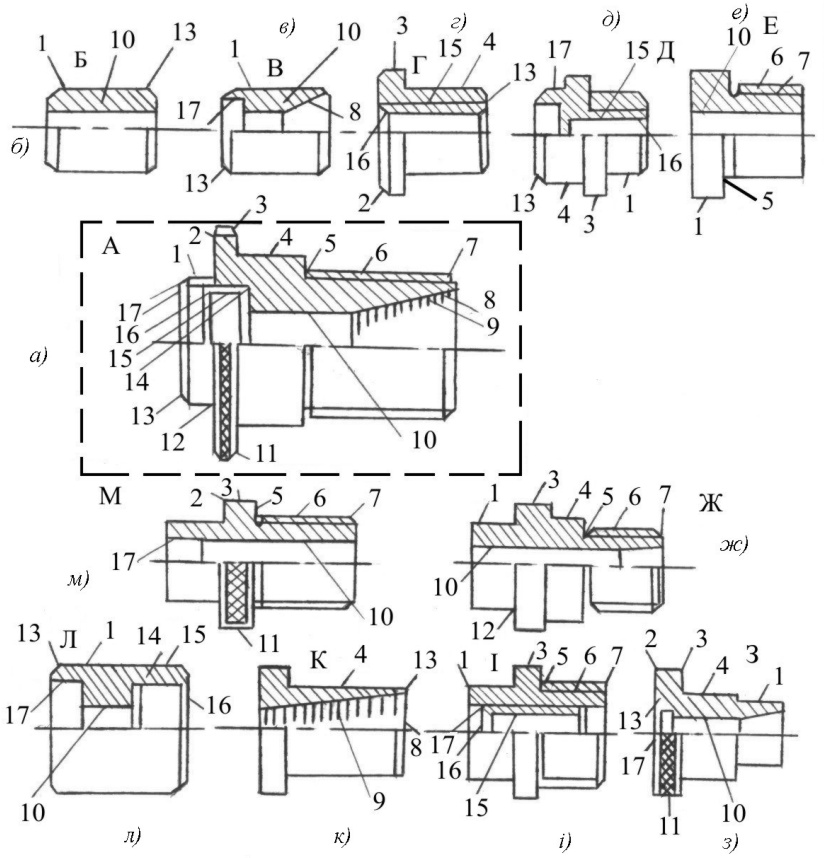


Рис. 13.3. Комплексна (а) і конкретні (б, в, г, д, є, м, ж, л, к, і, з) деталі

На рис. 13.3 буквою А позначена комплексна деталь, що складається з ряду елементарних поверхонь (1–17). Буквами Б, В, Г і так далі тут позначено конкретні деталі з таких же геометричних елементів в різній комбінації.

На рис. 13.4 як приклад використання комплексної деталі показано групу деталей типу тіл обертання, що обробляються на токарному верстаті. Групове оснащення верстата (справа внизу) на деталеоперацію виготовляється по комплексній деталі. В процесі розробки технологічного процесу на комплексну деталь визначаються тип обладнання, конструкція пристрою, необхідні інструменти тощо. В даному випадку заготовка закріплюється в трикулачковому патроні, а різальний інструмент – в чотирипозиційному різцетримачу і поворотній револьверній головці, встановленій в пінолі задньої бабки (на рисунку справа внизу).

Друга група деталей, що обробляється на токарно-револьверних верстатах з горизонтальною віссю револьверної головки, наведена на рис. 13.5, *а*. Оснащення верстата виготовляється по комплексній деталі. Номерами 1–12 на рис. 13.5, *б* показана послідовність роботи інструментів, встановлених в револьверній головці. При переході до обробки нової деталі групи сам робітник виконує необхідне підналагодження верстата.

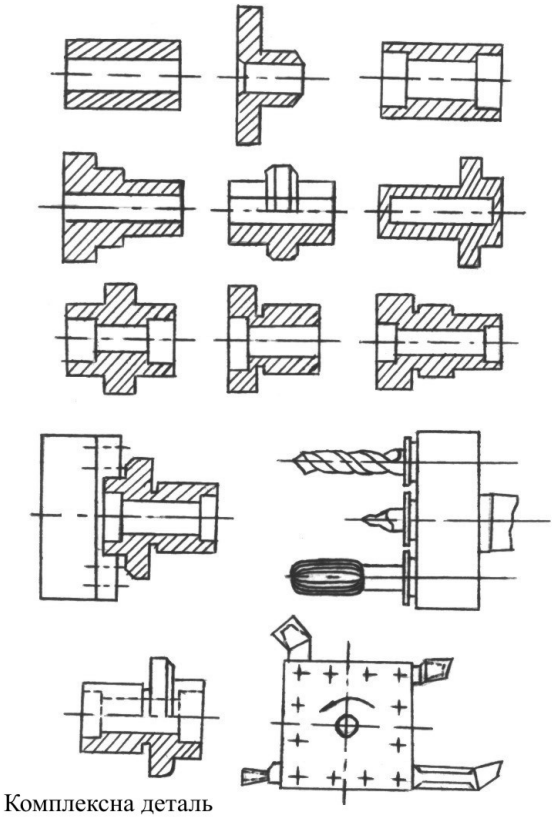


Рис. 13.4. Група деталей, які обробляються на токарному верстаті

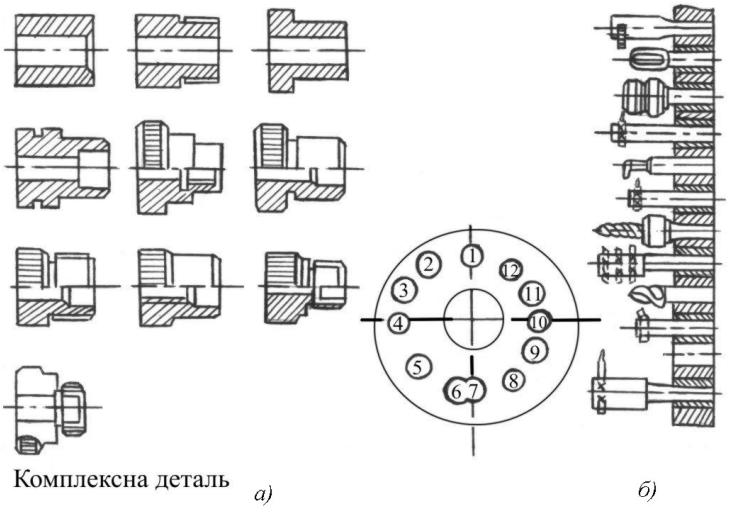


Рис. 13.5. Група деталей, які обробляють на токарно-револьверному верстаті

Вище було розглянуто приклади обробки деталей групи по технологічному процесу, розробленому для комплексної деталі. В багатьох випадках комплексна деталь не створюється, а визначаються основні характерні ознаки різних деталей, що дозволяють об'єднати їх в одну класифікаційну групу. (Це відноситься, перш за все, до деталей складної конфігурації, у яких оброблюються окремі поверхні). Такими характерними ознаками можуть бути не тільки розташування оброблюваних поверхонь, але й схеми базування кожної деталі. Взаєморозташування оброблюваних поверхонь, як і у випадках, розглянутих вище, дозволяє визначити не комплексну деталь, а комплексне з'єднання елементів поверхонь і скласти груповий технологічний процес, вибрати схему групового оснащення та необхідний різальний інструмент. Спільні (подібні) схеми базування кожної деталі дають можливість вибрати чи створити груповий пристрій, що забезпечує встановлення і закріплення кожної деталі даної групи.

На рис. 13.6, *а* як приклад показана група складних деталей, заготовки яких одержано методом лиття під тиском. В кожній з показаних деталей обробляється отвір. В цьому випадку ми маємо справу не з комплексною деталлю, а з комплексом елементів поверхонь (показано жирними лініями), які можуть бути оброблені із застосуванням єдиного групового оснащення. Крім того, всі деталі групи мають принципово ідентичну схему базування і закріплення в пристрої. На рис. 13.6, *б* наведено схему налагодження верстата і конструкцію групового токарного пристрою, що забезпечує закріплення будь-якої деталі групи.

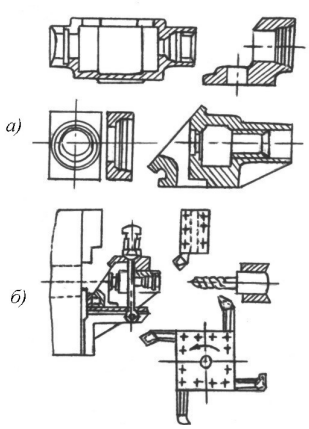


Рис. 13.6. Група деталей, що обробляються на токарному верстаті оснащеному груповим пристроєм

13.3.4. Розробка групового технологічного процесу

Після проведення класифікації деталей і створення їх груп приступають до розробки групового технологічного процесу, який дозволив би здійснити обробку будь-якої деталі даної групи без значних відхилень від загальної технологічної схеми.

Груповою технологічною операцією називається загальна для групи різних за конструктивними ознаками деталей операція, що виконується з певним груповим оснащенням, яке забезпечує обробку деталі на даному обладнанні.

Деталеоперація представляє собою диференційований план переходів при

обробці конкретної деталі певної групи, для якої розроблена групова операція. Таким чином, групова операція охоплює стільки деталеопераций, скільки деталей різних типів скомплектовано в групу.

Таке технологічне рішення сприяє спеціалізації робочих місць. В ідеальному випадку при оснащенні робочого місця одним груповим оснащенням, за допомогою якого обробляється у повному об'ємі вся номенклатура закріплених деталей даної групи, воно буде мати стабільну технологічну спеціалізацію, що характерно для великосерійного і масового виробництв. На такому робочому місці підвищується і рівень організаційних умов, оскільки воно завжди готове для виконання будь-якої закріпленої за ним деталеопераций.

При оснащенні робочих місць груповим оснащенням для переходу до обробки нової деталі потребується лише незначне підналагодження верстата, на що витрачається в 10–15 разів менше часу, ніж на повне його переналагодження. Це дуже важливо у випадку часто змінюваної номенклатури в умовах серійного і одиничного виробництва.

Груповим технологічним процесом називається сукупність групових технологічних операцій, що забезпечують обробку різних деталей групи (чи декількох груп) за спільним технологічним маршрутом. При груповому технологічному маршруті деякі деталі чи їх групи можуть пропускати окремі операції.

Подібного роду процеси є основою для створення дільниць з замкненим циклом виробництва, спеціалізованих дільниць і групових (багатономенклатурних) потокових ліній. В цих випадках має місце груповий (багатопредметний) потік, що складається з деталеопераций.

При створенні груп деталей із спільним технологічним процесом необхідно враховувати обсяг випуску окремих деталей. В тих випадках, коли обсяг випуску невеликий, доцільно проводити класифікацію по деталеопераціях. На цьому ж принципі базується і впровадження групових потокових ліній складання:

При розробці групових процесів необхідно виходити з таких основних положень.

1. Прийнята послідовність технологічних операцій при груповому маршруті чи переходів при груповому процесі повинна забезпечувати обробку будь-якої деталі групи у відповідності з кресленням і технічними вимогами.

2. Технологічне оснащення повинно бути груповим чи універсально-переналагоджувальним, придатним для виготовлення будь-якої деталі групи.

3. Обладнання, що застосовується, повинно забезпечувати високопродуктивну обробку при мінімальних затратах на його переналагодження.

4. Технологічна документація повинна бути простою за формою, вичерпною за змістом і зручною для використання на робочих місцях.

Одночасно з розробкою найбільш раціонального процесу потрібно вирішувати ряд питань організаційного і технічного характеру, таких як уніфікація виду заготовок, виявлення міжцехових виробничих зв'язків (маршрутів руху деталей по цехах), визначення обсягу паралельних робіт в різних підрозділах підприємства, виявлення можливостей спеціалізації цехів чи окремих дільниць, встановлення шляхів модернізації обладнання із врахуванням створення в ряді випадків спеціалізованих, спеціальних і агрегатних верстатів, раціональна організація робочих місць і підвищення культури виробництва.

На рис. 13.7, *а* показано схему побудови групової операції на базі

комплексної деталі, а на рис. 13.7, *б* – групового процесу на основі комплексного маршруту.

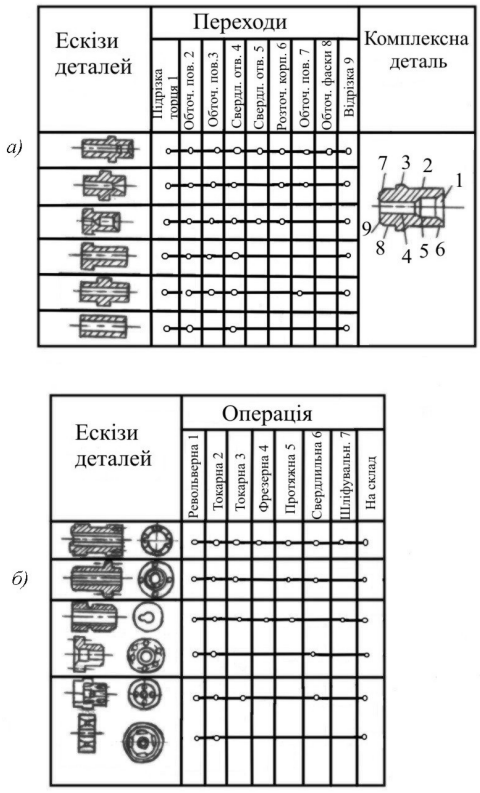


Рис. 13.7. Схема побудови групової операції (а) та групового комплексного маршруту (б)

Основні етапи розробки групових технологічних процесів, задачі, що розв'язуються на кожному етапі, і основні документи, що забезпечують розв'язання цих задач, показані в табл. 13.2. Плавила розробки групових технологічних процесів викладені в державному стандарті.

Таблиця 13.2

Етапи розробки групових технологічних процесів

Етапи розробки ТП	Задачі, що розв'язуються на етапі	Основні документи і системи, необхідні для розв'язання задач
1	2	3
Аналіз вихідних даних для розробки ТП	Попереднє ознайомлення з призначенням і конструкцією предмета виробництва, з вимогами щодо виготовлення та експлуатації. Підбір довідкової інформації	Технічне завдання на розробку робочих ТП із вказанням програми випуску виробу. КД на виріб. Інформаційно-пошукова система технологічного призначення

Продовження табл. 13.2

Групування виробів за конструкторсько-технологічними ознаками	Формування технологічного коду виробу за технологічним класифікатором. Віднесення оброблюваного виробу до відповідної класифікаційної групи на основі технологічного коду	Технологічний класифікатор. КД на виріб.
Кількісна оцінка груп виробів	Визначення типу виробництва для кожного виробу в групі	Специфікація КД. Програма випуску виробу.
Вибір діючого ТТП, ГТП чи пошук аналога одиничного ТП	Віднесення оброблюваного виробу за його технологічним кодом до діючого ТТП, ГТП чи одиничного ТП із врахуванням результатів кількісного оснащення груп виробів	Документація ТТП, ГТП та одиничних ТП для даної групи виробів. Документація перспективних ТП
Вибір вихідної заготовки і методів її виготовлення	Визначення виду вихідної заготовки (чи уточнення заготовки, що визначена ТТП, ГТП). Вибір методу виготовлення вихідної заготовки. Техніко-економічна оцінка вибору заготовки	Документація ТТП. Класифікатор заготовок. Методика розрахунку техніко-економічної оцінки вибору заготовок. Стандарти та ТУ на заготовки і основний матеріал
Вибір технологічних баз	Вибір поверхонь базування чи базових складових частин виробу. Оцінка точності та надійності базування за критерієм продуктивності.	Класифікатор способів базування. Методика вибору технологічних баз
Розробка технологічного маршруту обробки	Визначення послідовності технологічних операцій (чи уточнення по ТТП, ГТП). Визначення складу засобів технологічного оснащення	Документація ТТП, ГТП чи одиничного ТП. Документація перспективного ТП
Розробка технологічних операцій	Розробка (чи уточнення) послідовності переходів і операції. Вибір засобів технологічного оснащення	Документація ТТП, ГТП чи одиничного ТП. Класифікатор технологічних операцій. Методика встановлення оптимальної послідовності переходів згідно з ГОСТ 14.304-73 – ГОСТ 14.307-73, ГОСТ 14.308-74
Нормування ТП	Встановлення вихідних даних, для розрахунку норм часу та їх розрахунок. Визначення розряду робіт та обгрунтування професій для виконання операції в залежності від складності цих робіт	Нормативи часу. КД на засоби технологічного оснащення. Методики розробки норм часу. Класифікатори розрядів робіт та професій

Закінчення табл. 13.2

Розрахунок точності та економічної ефективності варіантів ТП	Вибір оптимального варіанта ТП	Методики розрахунку економічної ефективності. Методика розрахунку точності ТП. ГОСТ 16.467-70; ГОСТ 16.304-74 – ГОСТ 16.307-74
Оформлення ТП	Нормалізаційний контроль ТД. Узгодження ТП із зацікавленими службами та його затвердження	Стандарти ЄСТД

Примітки:

В таблиці такі позначення:

ТП – технологічний процес;

ТТП – типовий технологічний процес;

ГТП – груповий технологічний процес;

КД – конструкторська документація;

ТД – технологічна документація

13.4. Проектування технологічних процесів ремонту деталей

Початкові дані для розробки технологічних процесів ремонту деталей наступні:

– ремонтне креслення деталі, виконане відповідно до вимог стандарту на ремонтну документацію;

– відомості про можливі дефекти спрацьованої деталі та про кількість деталей з певними сполученнями дефектів;

– довідкові матеріали про технологічні методи усунення окремих дефектів і про рівень відновлення службових властивостей деталі різними методами;

– програма випуску деталей, що ремонтуються від якої залежить деталізація процесу ремонту;

– креслення складальної одиниці, до якої входить деталь;

– технологічний процес виготовлення деталі на заводі (для технологічного наступництва між виготовленням і ремонтом);

– відомості про передовий досвід ремонту деталей даного найменування;

– різні довідкові та нормативні матеріали (каталоги технологічного обладнання і оснащення, припуски на обробку, режим обробки, технічні норми тощо).

Деталі, що надходять на ремонт, мають, як правило, декілька дефектів одночасно. Ремонтують їх за технологічними принципами, розробленими на кожен дефект (дефектна технологія), на комплекс дефектів, які виникають у деталей даного найменування (маршрутна технологія), та на групу деталей певного класу (групова технологія).

При дефектній технології зазначають перелік операцій усунення одного дефекту. Таким чином, скільки в деталі дефектів, стільки й самостійних технологічних карт. Але оскільки до цеху відновлення надходить партія деталей з різними дефектами, то організаційно метод подефектної технології передбачає для кожної з них виконання індивідуальних процесів, що ускладнює ремонт і знижує

його ефективність. Подефектна технологія збереглася на дільницях з одиничним типом виробництва.

При маршрутній технології розробляють технологічні процеси на комплекс дефектів. З практики ремонту відомо, що дефекти на однойменних деталях повторюються в певних поєднаннях. Наприклад, при дефектації колінчастих валів двигуна найчастіше спостерігаються такі дефекти:

– спрацювання корінних шийок;
– спрацювання шатунних шийок;
– вигин вала;
– спрацювання гнізда під підшипник;
– спрацювання отворів під болти кріплення маховика.

На основі статистичних даних виявляють поєднання дефектів та їх повторюваність щодо загальної кількості ремонтованих деталей. Для наведеного прикладу одержимо такі дані:

Поєднання дефектів	Повторюваність дефектів, %
1, 2	31
1, 2, 3	42
1, 2, 4	16
1, 2, 5	5
1, 2, 4, 5	2,5
1, 2, 3, 5	3,5

З наведених даних видно, що доцільно розробити три маршрути:

Номер маршруту	Поєднанняння дефектів
1	1,2
2	1, 2, 3
3	1, 2, 4

Для кожного номера маршруту розробляється маршрутно-технологічна карта. Кількість маршрутів повинна бути мінімальною, щоб не утруднювати організації виробничого процесу. Маршрутна технологія порівняно з подефектною створює умови безперервності виконання технологічного процесу всієї партії деталей, що підвищує продуктивність праці та знижує собівартість, сприяє оперативному плануванню і підвищенню якості ремонту. Оскільки маршрутна технологія не охоплює всіх поєднань дефектів, частину їх (з невеликою повторністю) усувають, застосовуючи подефектну технологію.

Подальшим розвитком ремонтного виробництва є застосування групової технології. У цьому випадку технологічний процес розробляють для груп деталей, у яких дефекти усуваються одними й тими ж способами з наступною механічною обробкою, що виконується на однотипному обладнанні та без істотного переналагодження.

Застосування групової технології сприяє організації потокового методу ремонту деталей і вузлів.

Розробку маршрутного технологічного процесу відновлення деталей рекомендується проводити в такій послідовності:

1. Розробити операцію миття.

2. Встановити дефекти деталі, заповнити дефективну відомість і вибрати маршрут ремонту.

3. Вибрати спосіб нарощування спрацьованого шару.

4. Розрахувати припуски на відновлення деталі та визначити товщину нарощуваного шару.

5. Вибрати технологічні бази для процесів відновлення та механічної обробки.

6. Вибрати технологічне обладнання та оснащення для нарощування спрацьованого шару.

7. Розробити операцію відновлення та розрахувати режими і норми часу.

8. Проаналізувати технологічний процес виготовлення деталі на заводі.

9. Скласти план механічної обробки.

10. Вибрати технологічне обладнання і оснащення для механічної обробки.

11. Розробити операції механічної обробки, розрахувати режими різання та норми часу.

12. Скласти технічну документацію на відновлення і механічну обробку.

Для нарощування спрацьованої поверхні широко застосовують наплавлення, напилення, електролітичні та хімічні методи покриття, використовують полімерні матеріали тощо. При виборі баз необхідно використовувати ті ж поверхні, які були базами при виготовленні деталі. При цьому іноді виникає необхідність ремонтувати чи відновлювати первісну базу. При відновленні деталі та наступній механічній обробці необхідно використовувати принцип суміщення та єдності баз.

Ефективність відновлення деталей машин істотно залежить від правильної організації ремонтної служби та її спеціалізації.

У наш час ремонтні підприємства проектують за принципом спеціалізації. Прикладом є ремонтні підприємства, які спеціалізуються на ремонті автомобілів, тракторів, комбайнів, двигунів та іншої техніки. Найвищого рівня спеціалізації досягають тоді, коли в межах конкретного підприємства або цеху зосереджується велика кількість однотипних деталей, наприклад, колінчастих і розподільних валів, шатунів, гільз, циліндрів, поршневих пальців, котків, ланок гусениць тощо. У цьому випадку розробляють групові технологічні процеси з потоковими методами організації виробництва.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що розуміють під уніфікованим технологічним процесом?

2. Які існують основні напрямки уніфікації технологічних процесів?

3. Які переваги мають уніфіковані технологічні процеси у порівнянні з одиничними?

4. Що є основою уніфікації технологічних процесів?

5. Охарактеризуйте основні особливості типового технологічного процесу (ТТП).

6. Наведіть загальну схему класифікації деталей для розробки ТТП.

7. Що розуміють під типовою деталлю?

8. За якими основними напрямками розробляються ТТП?

9. Що належить до документації ТТП?

10. Наведіть основні етапи розробки ТТП.

11. Що розуміють під груповим методом обробки?

12. Які задачі виробництва вирішує груповий метод?

13. Що є основою групового методу?

14. За якими ознаками класифікують деталі для розробки групових технологічних процесів (ГТП)?

15. Перелічіть основні системи класифікації та кодування деталей для розробки ГТП.

16. Охарактеризуйте основні два види кодування інформації для розробки ТТП.

17. Що розуміють під групою, на яку розробляється ГТП?

18. На яких методах базується групування деталей для розробки ГТП?

19. Що розуміють під комплексною деталлю? Яка її роль у розробці ГТП?

20. Що розуміють під груповою технологічною операцією?

21. Що розуміють під ГТП?

22. Які основні положення треба враховувати при розробці ГТП?

23. Які питання організаційного та технічного характеру треба вирішувати одночасно з розробкою ГТП?

24. Охарактеризуйте основні етапи розробки ГТП?

25. Які початкові дані потрібні для розробки технологічного процесу ремонту деталей машин?

26. Охарактеризуйте основні види ремонтних технологій.

27. Складіть послідовність розробки маршрутного технологічного процесу відновлення деталей.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Воробьёв Л.Н. Технология машиностроения и ремонта машин. – М: Высшая школа., 1981. – 334 с.

2. Организация группового производства / Под общ. ред. С.П. Митрофанова и В.Л. Петрова. – Л.: Лениздат, 1980. – 288 с.

3. Организационно-технологическое проектирование ГПС / Под общ. ред. С.П.Митрофанова – Л.М.; 1986. – 294 с.

4. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. – К.: Вища школа, 1993. – 414 с.

5. Технологическая подготовка гибких производственних систем / Под общ. ред С.П. Митрофанова. – Л.М., 1987. – 352 с.

ЧАСТИНА ІІІ

ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ СТУДЕНТАМ І ВИКЛАДАЧАМ ПО ОПРАЦЮВАННЮ МАТЕРІАЛУ ЧАСТИНИ ІІІ ПІДРУЧНИКА “ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ”

Матеріал цієї частини повністю побудований на теоретичних і практичних положеннях перших двох частин.

В ньому викладено по групах типових деталей їх службове призначення, конструктивні особливості, технічні вимоги, матеріал і заготовки, основні способи базування, варіанти типових технологічних маршрутів обробки, методи обробки окремих поверхонь, а також особливості складання типових з’єднань деталей.

Для закріплення теоретичного матеріалу рекомендується виконання студентами індивідуальних завдань з проектування технологічних процесів, та виконання лабораторних робіт, спрямованих на настроювання технологічних систем та дослідження в процесі обробки параметрів точності деталей.

Пропонуються такі теми індивідуальних завдань:

1. Розробка маршрутного технологічного процесу складання вузла.
2. Розробка маршрутно-операційного технологічного процесу обробки деталі.

Вихідними даними для виконання завдання є:

– робоче креслення вузла, специфікації деталей, що в нього входять, технічні вимоги на виготовлення;

– робочі креслення на основні оригінальні деталі цього вузла, технічні вимоги на їх виготовлення;

– річна програма випуску;

– режим роботи виробничої дільниці.

Вузол, що видається на індивідуальне завдання, повинен бути простим і містити від 10 до 20 деталей.

Деталь, що видається студенту для розробки технологічного процесу її виготовлення, повинна бути середньої складності (до 7…10 операцій) з різними видами механічної обробки. Краще, щоб це були деталі типу “корпус”, “важіль”, “кронштейн” та ін.

Студент повинен проаналізувати завдання, знайти необхідну літературу і розробити маршрутний технологічний процес складання у відповідності з методикою, викладеною в темі 11, і маршрутно-операційний технологічний процес обробки деталі у відповідності з методикою, викладеною в темі 12.

Розробка технологічних процесів повинна супроводжуватись пояснювальною запискою, в якій треба навести необхідні обгрунтування прийнятих рішень та

розрахунки.

Протягом виконання індивідуального завдання студент одержує консультації викладача, а після його закінчення захищає роботу. Захист роботи полягає у розв'язанні всіх поставлених питань згідно з вказаними методиками і у співбесіді по них з викладачем.

Якість виконання індивідуальної роботи обов'язково враховується при підсумковій оцінці знань в цілому по курсу.

Тематика лабораторних робіт рекомендується наступна:

1. Настроювання різних технологічних систем (токарних, фрезерних, свердлильних, розточувальних верстатів, верстатів з ЧПК та ін.) на обробку партії різних груп деталей (корпусних, важелів, валів, зубчастих коліс та ін.) з використанням технологічних ланцюгів.

2. Дослідження параметрів точності різних груп деталей, що обробляються на різних технологічних системах (див. п 1).

Структура методичних вказівок щодо виконання кожної лабораторної роботи може бути такою: мета роботи, обладнання та оснащення, стислі теоретичні відомості, зміст роботи, порядок виконання роботи, зміст звіту, використана література.

Тема 14. Технологія складання машини та її складальних одиниць

14.1. Підготовка деталей до складання

14.1.1. Припасувальні роботи при складанні

Точність складання на основі принципів повної чи неповної взаємозамінності забезпечується переважно в масовому і великосерійному виробництвах. В дрібносерійному і тим більше в одиничному виробництвах принцип взаємозамінності економічно невиправдний і застосовується лише в окремих випадках. Деталі в цих виробництвах обробляють на універсальному обладнанні звичайно без застосування спеціальних пристроїв, а контроль здійснюється універсальним вимірювальним інструментом, який не завжди забезпечує потрібну точність вимірювань. Похибки взаємного розташування поверхонь деталей в процесі їх обробки нерідко значно перевищують допустимі відхилення. Це викликає, як уже відмічалось, необхідність в процесі складання додатково обробляти деталі і складальні одиниці, припасовуючи їх по місцю. Таким чином, *під припасуванням розуміється ручна або механічна обробка в процесі складання з'єднуваних поверхонь деталей для досягнення необхідної точності з'єднань або забезпечення інших якісних показників*.

Процес припасування складається з двох етапів: визначення величини похибки і усунення її зняттям зайвого шару металу. Тривалість припасування звичайно важко нормувати, оскільки похибка $\delta_к$ для різних складальних одиниць змінна, тому і час припасування змінюється в широких межах. Скорочення часу припасувальних робіт може бути досягнуто зменшенням величини компенсації $\delta_к$ або прискоренням процесу припасування за допомогою механізації.

Припасувальні роботи при складанні механізують головним чином за допомогою універсальних та спеціалізованих інструментів з електричним, пневматичним, рідше гідравлічним приводами. Такі інструменти дають можливість суттєво підвищити продуктивність праці та якість робіт. Механізовані інструменти мають ККД: 8–11 % з пневматичним приводом, 55–65 % з електричним і приблизно 70 % з гідравлічним приводом.

Основні переваги пневмоінструментів у порівнянні з електроінструментом полягають у наступному: значно більша потужність на один кілограм маси, зручність та безпека у застосуванні, безступінчасте змінювання частоти обертання, менші вартість та затрати на обслуговування. Більшість пневмоінструментів має реверсивне переключення, проте електроінструменти дають більш високий ККД, створюють менший шум при роботі, легко приєднуються до джерела живлення, більш транспортабельні.

Велику увагу при використанні на складальних дільницях механізованих інструментів необхідно приділяти питанням техніки безпеки, особливо при роботі з електроінструментом.

Великим недоліком, що заважає раціональному використанню механізованого інструмента, є його вібрація. Тривала дія її викликає захворювання, яка називається вібраційною хворобою.

Інструмент з гідравлічним приводом має порівняно невелике поширення, при

цьому переважно на складальних операціях.

Найбільш поширеними видами припасувальних робіт є обпилювання, зачищення, притирання, полірування, шабріння.

Обпилювання та зачищення

Обпилювання та зачищення повинно проводитись на спеціально відведеній дільниці, яка повинна бути ізольована від робочих місць складання.

Характерні приклади цих робіт такі: обпилювання деталі за контуром для зняття нерівностей, шорсткості, забоїн, заусениць; зняття припуску на деталі – компенсаторі під розмір, що передбачено технологією складання; усунення дефектів на поверхні деталі (відколи, царапини) в тих випадках, коли виправлення їх допускається технічними умовами; обпилювання площин, складних поверхонь, пазів і виступів при припасуванні з'єднань.

Обпилювання вважається грубим, якщо необхідно видалити шар металу більше 0,2 мм. При тонкому обпилюванні шар металу, що знімається, рідко перевищує 0,1 мм, при цьому може бути досягнута точність до 0,02 мм.

У всіх випадках після обпилювання поверхню зачищують терпугом з дрібною насічкою з крейдою, шкуркою, бруском. Інструментами при обпилюванні та зачищенні звичайно служать терпуги, надфілі та абразивні круги, головки і бруски.

Для механізації робіт по обпилюванню та зачищенню доцільно використовувати стаціонарне або пересувне устаткування з гнучким валом, яке надають рух спеціальним терпугам або абразивним головкам. Поряд з цим, великого поширення набувають переносні пневматичні та електричні ручні або приводні машини, що працюють з абразивними кругами.

Для місцевого зачищення загартованих і точно оброблених деталей використовують квадратні, плоскі, тригранні, круглі або напівкруглі абразивні бруски. Працюють такими брусками із застосуванням мінерального мастила, гасу або скипидару.

Після обпилювання терпугами поверхні звичайно зачищають шліфувальними шкурками. При зачищенні деталей зі сталі, твердої бронзи, кувального чавуну та інших твердих сплавів застосовують дрібнозернисті шкурки номерів 4–6 з електрокорундовим зерном, для крихких і м'яких металів – чавуну, бронзи, алюмінієвих сплавів – шкурки номерів 5–10 з карбідокремнієвим зерном. Для дуже тонкого зачищення застосовують шкурки зернистістю М10–М28.

В ряді виробництв одержав також поширення метод чистової обробки абразивними стрічками. Їх виготовляють з тканини або кожі з нанесенням абразивного порошку.

Притирання

Притирання при складанні застосовують у тих випадках, коли необхідно одержати точний розмір деталей за рахунок зняття дуже малого припуску для досягнення щільного прилягання поверхонь, що забезпечує гідравлічну непроникливість з'єднання. Точність розмірів, що досягається притиранням, досягає до 0,1 мкм.

Притирання (рис. 14.1), як відомо, представляє собою різання абразивними зернами, що знаходяться між поверхнями притира та деталі. Відносний рух

поверхонь притира викликає обертання зерен абразиву, які укорінюються у притиральник і в деталь, зрізуючи з їх поверхонь мікро нерівності. При цьому одночасно відбувається окислення поверхонь, а також виникає явище їх наклепу.

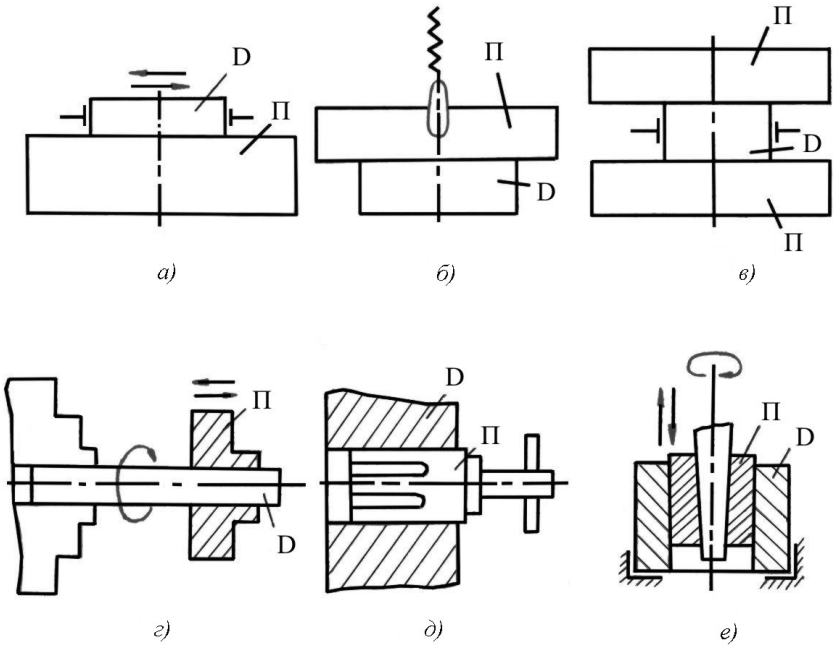


Рис. 14.1. Схеми притирання: а – в – площин; г – валика; д, е – отворів;
D – *деталь;* П – *притир*

Підвищення питомого тиску при притиранні до 150–200 Н/см^2 супроводжується збільшенням з'єму металу. При цьому якість поверхні не погіршується (за винятком випадків притирання деталей зі спеціальних матеріалів). Подальше збільшення тиску викликає створення глибоких штрихів. При використанні порошків з великою зернистістю інтенсивність з'єму металу підвищується, але погіршується якість поверхні та збільшується глибина наклепаного шару. Велика швидкість притирання підвищує його продуктивність, але при швидкості понад 25–35 м/хв можливе нагрівання деталі і збільшення шорсткості поверхні. Із врахуванням матеріалів деталей, що притираються, доцільно в кожному випадку експериментально визначати оптимальні режими процесу, представляючи їх у вигляді графіків, зручних для користування (рис. 14.2).

Існує два способи притирання деталей: – однієї деталі по іншій (притирання клапанів, пробок тощо) і кожної з деталей по третій – притиру. За допомогою притирів доводять деталі топливної апаратури, кришки, торці, фланці та буртики в щільних з'єднаннях.

Притирами можуть бути плити, бруски, конуси, втулки та інші деталі з матеріалу, більш м'якого, ніж матеріал деталей, що притирається.

Ручне притирання – процес трудомісткий і малопродуктивний. Тому операції притирання необхідно всіляко механізовувати. Для цього застосовують електричні

або пневматичні ручні машини з обертальним рухом робочого органа, а також спеціальні верстати.

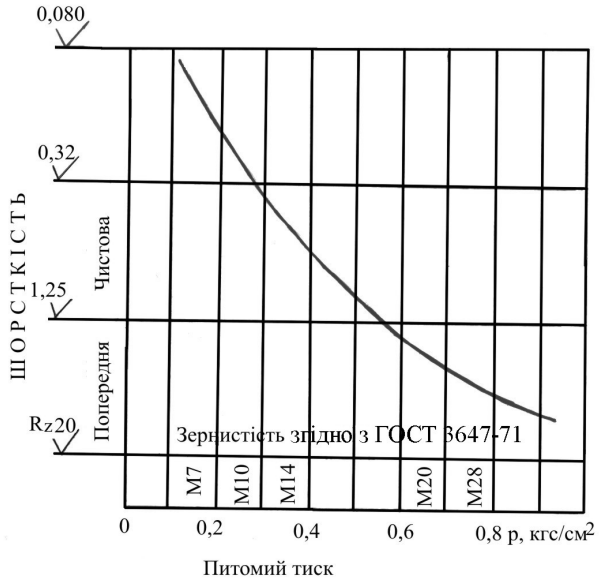


Рис. 14.2. Графік режимів притирання: матеріал притира – чавун; матеріал деталі, що притирається, – сталь 1 х 18Н9Т; швидкість притирання – 20 м/хв.

У всіх випадках притирам або деталям, що притираються, надається складний рух, з тим щоб сліди не накладались один на одний.

У верстатобудуванні для притирання застосовують механізовані плити з гідроприводом.

Притирання починають із застосування великозернистих паст і поступово переходять до паст дрібнозернистих. Поверхні, що притирають, періодично ретельно витирають чистою, зволоженою гасом ганчіркою і проглядають через лупу. При виявленні на поверхні штрихів необхідно перейти на притирання дрібнозернистою пастою і робити це до тих пір, поки не буде досягнута цілком рівна поверхня без штрихів.

Після ретельної попередньої обробки для досягнення малої шорсткості поверхні в ряді випадків проводять притирання і доводку алмазними пастами. Притири при цьому можуть бути чавунні, сталеві, латунні, мідні, фіброві, кожані, фетрові та інші.

Притерті поверхні перевіряють на фарбу. При хорошому притиранні фарба дрібними плямами рівномірно розподіляється по всій поверхні з’єднання.

Полірування

Цей вид обробки в процесі складання звичайно проводять для досягнення меншої шорсткості поверхні, які піддаються обпилюванню або зачищенню. Припуск під полірування залишається дуже невеликий (0,005–0,007 мм). Загладжування штрихів при поліруванні поверхонь сприяє підвищенню зносостійкості деталей. Крім того,

при зменшенні шорсткості зменшується площа поверхні деталей, що стикається з повітрям та корозійним середовищем, що підвищує стійкість полірованої поверхні проти корозії. Полірування дозволяє також виявляти дефекти поверхневого шару: тріщини, волосовини, флокени, які на грубо обробленій поверхні часто не примітні.

Процес полірування здійснюється за допомогою обертальних зі швидкістю 30–50 м/с еластичних кругів, на робочу поверхню яких наноситься абразивна суміш з рідким наповнювачем або мастика, яка складається з в'яжучої речовини і полірувального порошка. Круги застосовують з войлока (зробленого з овечої шерсті чи в суміші з козячою), бавовняної тканини, а також сульфітцелюлозного обгорткового паперу. Для одержання поверхні з меншою шорсткістю застосовують круги з графітовим наповнювачем, а також алмазні полірувальні стрічки. Полірують із застосуванням тонких порошків або спеціальних полірувальних паст.

За в'яжучу речовину застосовують суміш парафіну, олеїну, стеаріну, воску, яловичого сала, вазеліну.

Деякі склади полірувальних паст наведені в табл. 14.1.

Таблиця 14.1

Склад паст для полірування

Компоненти	Склад пасти вагою / за		Компоненти	Склад пасти вагою / за	
	№ 1	№ 2		№ 1	№ 2
Окис хрому	1	3	Сало яловиче	0,8	1
Окис алюмінію	6,5	–	Церезин	1,45	–
Полірувальне вапно	–	4,5	Олеїн	–	1
Стеарин	1	1	Скипидар	0,25	–
Віск	1	–	Сірка	–	0,1

Після полірування деталь необхідно ретельно протерти сукном, обмити чистим бензином і насухо обдути стиснутим повітрям.

Полірування при обробці деталей здійснюється на спеціальних полірувальних верстатах. В умовах же складання, де обсяг таких робіт невеликий, застосовують механізовані шліфувальні або швидкоходові свердлильні машинки.

Операції полірування при складанні необхідно виносити з потоку і виконувати на спеціально відведених робочих місцях.

Шабріння

Цей метод фінішної обробки полягає у зіскоблюванні шаберами тонких (приблизно 0,005 мм) шарів металу для одержання рівної поверхні після попередньої обробки її різцем, терпугом або іншим різальним інструментом. При шабрінні метал поступово зрізується з ділянок, що стикаються (при пробі на фарбу) з поверхнею, до якої припасовується дана деталь. При наступних пробах ці ділянки стають все дрібніші та дрібніші ("розбиваються"), поки не отримується "сітка", тобто достатнє число плям дотику.

Шабрінням можна одержати високу точність: площинність та прямолінійність – до 0,002 мм на довжині 1000 мм і до 30 плям на площі 25×25 мм.

В процесі складання машин шабрять або плоскі поверхні деталей (площини

роз'єму, напрямні) для забезпечення особливо точних з'єднань, або циліндричні поверхні (вкладиші підшипників, втулки). Часто шабрять також деталі, конструктивні форми яких не дозволяють забезпечити потрібну точність при обробці на верстатах (рис. 14.3).

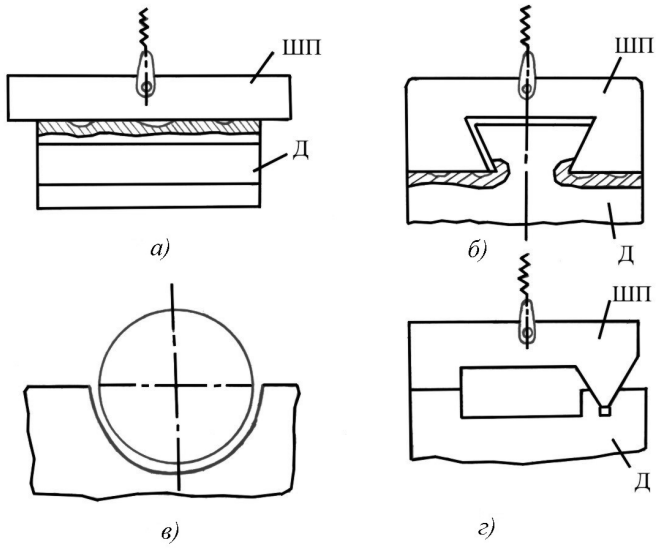


Рис. 14.3. Схеми шабріння: а – площин великогабаритних деталей; б – площин типу ластівкин хвіст; в – циліндричних поверхонь; г – фігурних напрямних; ШП – шабрувальна плита; Д – деталь

Шабріння ручними шаберами проводять двома методами: від себе (рух шабера по поверхні при знятті стружки) або на себе. У другому випадку вища продуктивність і більша шорсткість поверхні.

Шабрити поверхні доцільно під кутом 30–45° до штрихів і слідів, що залишились від попередньої обробки.

Результати шабріння визначають звичайно чи по фарбі, чи в суху – "на блиск".

Для підвищення продуктивності іноді шабріння поєднують з притиранням. В цьому випадку після попереднього шабріння поверхні на притир наносять шар грубої пасти ГОИ, розведеної в гасі, і поверхню притирають притиром до почорніння маси, потім перевіряють на фарбу і шабером "розбивають" плями, що отримані. Після цього знову повторюють операцію притирання.

Площини після шабріння перевіряють на фарбу за допомогою точних чавунних перевірних плит.

Шабріння вважається тонким, якщо число плям більше 22 (R_a = 0,08 мкм), точним, якщо число плям – 10–14 (R_a = 0,63 мкм), чистовим – якщо число плям 6–10 (R_a = 1,25 мкм), і грубим – якщо число плям 5–6 на площі 25×25 мм. Шабери застосовують ручні: плоскі, канавкові, тригранні, напівкруглі, насадні та інші, а також механічні.

Для економії інструментальної сталі велике поширення отримали складені шабери: різальна пластина зі спеціальної сталі чи сплаву, а шийка – державка – зі звичайної вуглецевої. В залежності від матеріалу оброблюваної деталі застосовують

пластинки зі швидкорізальної сталі, твердого сплаву тощо. При роботі шабер не заточують, а лише змінюють пластинки з набору, який є у робітника.

Шабріння – процес трудомісткий, і там, де можна, його потрібно замінювати іншими, більш продуктивними способами обробки.

У верстатобудуванні шабрувальні роботи замінюють тонким струганням і шліфуванням.

Для механізації шабріння застосовують спеціальні інструменти, шабрувальне устаткування та спеціальні верстати, які підвищують продуктивність у 3–5 разів.

14.1.2. Дороблювальні операції при складанні

Свердління

В процесі складання отвори свердлять, коли потрібна точність досягається найпростіше шляхом обробки двох або більшого числа деталей у з'єднанні (рис. 14.4, *а*, *б*), коли місце свердління (рис 14.4, *в*) важкодоступне для обробки на верстаті, а отвір невеликого діаметра і може бути просвердлений за допомогою механізованого інструмента, коли отвір не було передбачено при механічній обробці (наприклад, для встановлення пробок при виявленні шпарин у виливках: станині, картері, блоці, в різних корпусах), якщо це допускається технічними вимогами.

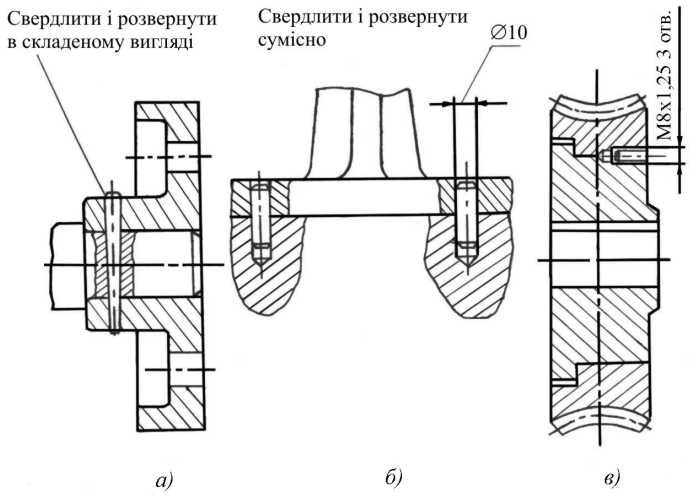


Рис. 14.4. З'єднання, що потребують сумісного свердління отворів при складанні

Складальні цехи для таких операцій звичайно мають декілька свердлильних верстатів, встановлених поблизу лінії складання.

Для отворів діаметром до 10–12 мм застосовують переносні пристрої або невеликі верстати на колонках, а для більш великих – верстати на фундаменті.

Не торкаючись тут робіт на свердлильних верстатах, зупинимося лише на особливостях свердління отворів пневматичними і електричними машинками в

процесі складання.

Користуватись свердлильними машинами, утримуючи їх в руках без упора, за можливістю не потрібно, оскільки при цьому внаслідок перекосу інструмента одержується “розбитий” отвір (зі збільшеним діаметром, з помітним овалом або конусністю). Робота механізованим інструментом, закріпленим в стояках чи на жорстких підвісках, забезпечує більшу точність та меншу шорсткість отворів. Не рекомендується давати прискорену подачу. Бажано застосовувати охолоджуючу рідину: мінеральне мастило при свердлінні сталі і гас при свердлінні алюмінію. При свердлінні чавуну рідину не застосовують.

В умовах дрібносерійного виробництва в процесі складання часто доводиться після свердління отвору нарізати різь. Для механізації цього процесу використовують пневматичні або електричні машини, на які встановлюють головки з реверсивним механізмом, що забезпечують прискорене вигвинчування мітчика. Застосовують також спеціальні різенарізачі.

Розвертання

Цю операцію виконують при складанні для одержання потрібної посадки у з’єднанні чи для забезпечення співвісності отворів деталей, що монтуються. Товщина шару металу, що знімається при розвертанні, коливається від декількох сотих до 0,2–0,3 мм і залежить від діаметра отвору.

При великому припуску застосовують декілька розверток з поступово збільшуючими діаметрами. На останню розвертку (чистову) залишається мінімальний шар, в результаті чого досягається шорсткість поверхні R_a = 2,5–1,25 мкм і висока точність. При розвертанні використовують ті ж охолоджуючі рідини, що і при свердлінні.

Розвертання отворів при складанні є відповідальною операцією, оскільки при неякісному виконанні цієї роботи можна зіпсувати декілька деталей чи навіть повністю вузол.

Деталі чи вузол, що піддаються розвертанню, повинні бути правильно і жорстко закріплені, оскільки зміщення їх може викликати перекошення отвору або ексцентричну його обробку.

Для механізації процесу розвертання застосовують електричні або пневматичні свердлильні машини з додатковими редукторами, які знижують частоту обертання до 30–50 об/хв.

Торцювання та шарошення

Операцію торцювання вводять за необхідності в процесі складання для зачищення базових площин під опорні частини фланців, шайб, гайок, упорів, а також для зняття шару матеріалу бобишок, втулок і штуцерів при підготовці розмірів цих елементів деталей по висоті.

Більшість зауважень, зроблених при розгляді процесу розвертання, повністю відноситься і до торцювання. Для цієї операції бажано застосовувати торцеві фрези з нерівним діленням зубів і з непарним числом їх. Щоб поверхня, що торцюється, була перпендикулярна осі отвору (а це звичайно основна вимога при торцюванні), необхідно мати на фрезі напрямну частину достатньої довжини, яка б входила в отвір з можливо меншим зазором.

Шарошення виконують конічними фрезами – шарошками. Останні, як і торцівки, закріплюють на спеціальних державках чи пристроях. Шарошки бувають суцільними і складеними.

Найбільш широко застосовують шарошки при припасуванні з'єднань клапанів, які сполучаються з базовою деталлю – сідлом по конічній поверхні. Для поліпшення якості фінішної обробки сідла звичайно шарошать в два прийоми: попередньо і остаточно.

Операції торцювання та шарошення доцільно виконувати за допомогою пневматичної або електричної свердлильної машини або на свердлильних верстатах, встановлення яких необхідно в таких випадках передбачати поблизу місця складання.

Згинальні роботи

З'єднання, що виконуються за допомогою згинання, мають в конструкціях машин невелике поширення. Типові вузли із закріпленням деталей за допомогою згинання однієї з них – шплінта, показано на рис. 14.5. Згинання в цьому випадку звичайно виконують ручним інструментом або за допомогою легкого преса.

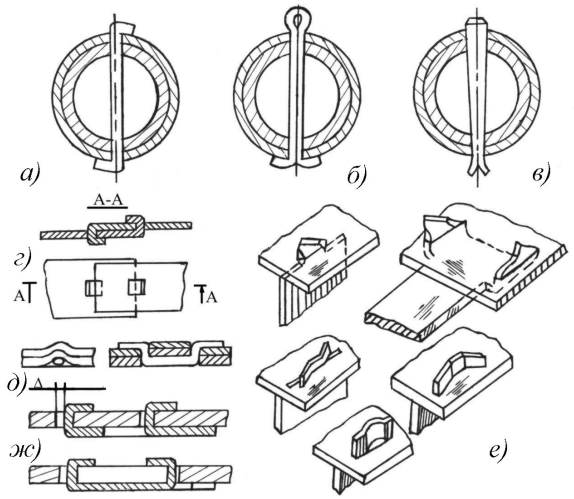


Рис. 14.5. З'єднання, що одержуються згинанням деталей

Згинальні роботи при складанні машин виконуються головним чином у зв'язку з припасуванням різноманітних труб трубопроводів.

Мідні чи латунні трубки малого діаметра (до 8 мм) при великих радіусах заокруглень (більше 10–12 діаметрів), а також у випадку, якщо не висуваються вимоги щодо точності форми, звичайно гнуть вручну в холодному стані. Трубопроводи великого діаметра (8–14 мм) також можна згинати вручну по шаблону, але на місце згину надягається щільно накручена спіральна пружина зі сталевого дроту. При більших діаметрах таку пружину доцільно вставляти у середину труби, внаслідок чого забезпечується плавний згин і зберігається кругла форма трубопроводу.

Згинання труб вручну – малопродуктивна і важка робота. Тому там, де це можливо, доцільно застосовувати механічні або пневматичні пристрої та трубозгинальні верстати (рис. 14.6).

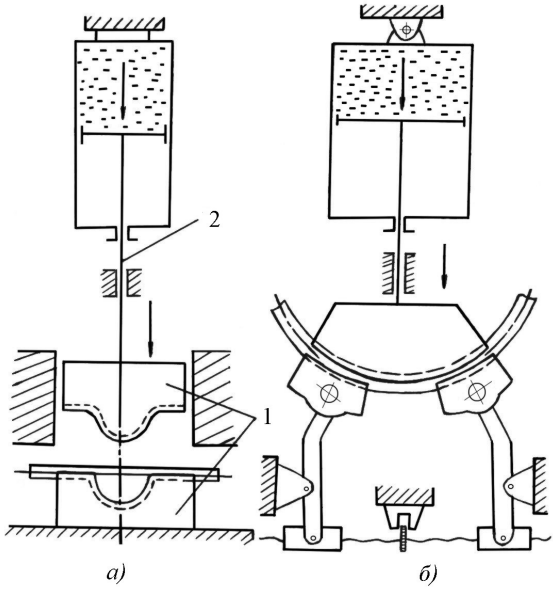


Рис. 14.6. Схема згинання труб за принципом штампування

Труби діаметром більше 20 мм згинають після наповнення їх піском або розплавленою каніфоллю. Пісок повинен бути дрібним і сухим, і чим щільніше він буде утрамбованим, тим менш ймовірна поява на трубі зморшок і вм'ятин при згинанні.

Сталеві труби діаметром до 10 мм згинають без нагрівання і без наповнювача, труби більших розмірів згинають у гарячому стані. Нагрівати трубу необхідно тільки в місці згинання.

Мідні труби нагрівати необов'язково, але ці труби перед згинанням повинні бути відпаленими, тобто нагріті та замочені в холодній воді.

14.1.3. Миття та очищення деталей і складальних одиниць

Чистота деталей і складальних одиниць – одна з основних умов досягнення високої якості складання виробів. Деталі, що поступають на вузлове складання, і складені елементи, що подаються на загальне складання машини, повинні бути цілком чистими. Металеві ошурки, дрібніші кусочки стружки, залишки обтирувальних матеріалів, абразивний порошок, попадаючи в отвори чи канали деталі, можуть згодом, при роботі машини, попасти разом з мастилом в підшипники або зазори інших рухомих з'єднань і викликати їх передчасне зношування. Для запобігання цього деталі і складальні одиниці в процесі складання проходять спеціальні операції: очищення та миття.

Способи миття застосовують, переважно, такі: хімічний (миття занурюванням і струминне миття із застосуванням органічних розчинів), електрохімічний (у спокійному або примусовому збуджуваному електроліті) і ультразвуковий. Виконуються також досліди по створенню мийних машин, які використовують

електрогідравлічний ефект, що виникає у воді при імпульсних іскрових розрядах.

Очищення складальних одиниць і деталей від шару антикорозійного мастила, слідів фарби на поверхнях та інших твердих забруднень може бути здійснене механічним шляхом, за допомогою приводних і ручних щіток, з наступним миттям і обдуванням стиснутим повітрям.

Струмом розчину деталі миють у промивних шафах або в спеціальних мийних машинах. Тиск струму – 7–15 Н/см^2.

В серійному і масовому виробництвах використовують спеціальні машини (однокамерні, двокамерні та трикамерні), в яких процес миття деталей і складальних одиниць здійснюється в закритому просторі без участі робітника (рис. 14.7).

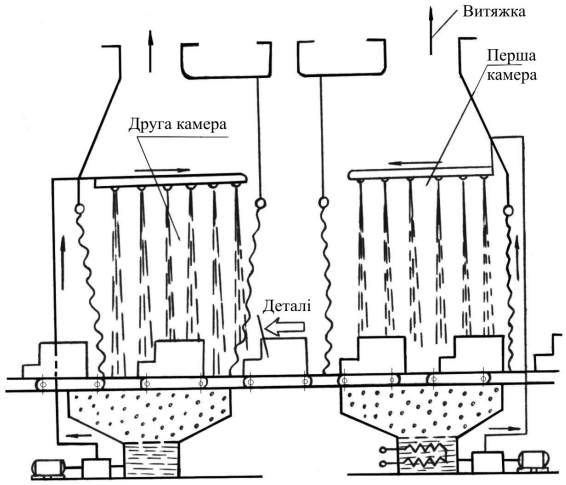


Рис. 14.7. Схема двокамерної мийної машини

У зв’язку з тим, що жирові речовини погано змочуються водою, до складу миючої рідини, крім неорганічних речовин (лугів), повинні також вводитись речовини з поверхнево-активними властивостями. Ці властивості мають мило, кислоти, спирт, рідке скло, синтетичні миючі речовини.

Коли до чистоти внутрішніх каналів складальних одиниць висуваються особливо жорсткі вимоги, промивання виконують струменем підігрітого до 60° С гасу, який направляється під тиском 600 Н/см^2 і вище. Чистоту промивання визначають фільтрацією проб гасу, що витікає з отворів складальної одиниці.

В процесі електрохімічного миття у спокійному чи примусово збуджуваному електроліті відбувається механічна і хімічна дія потоків рідини на деталь, а також катодна поляризація, що у сукупності дуже інтенсифікує процес миття (рис. 14.8).

Проте часто при складанні особливо точних з’єднань потрібне ще більш ретельне очищення. Воно досягається промиванням в рідинному середовищі за допомогою ультразвуку. Цей принцип полягає в тому, що в рідині збуджуються ультразвукові коливання, в результаті чого створюються кавітаційні бульбашки, які механічно діють на забруднену поверхню. Ударні хвилі, що при цьому виникають, порушують шари мастила, бруду тощо, що покривають поверхню деталей. Одночасно відбувається також хімічна взаємодія забруднень з рідиною-розчином. Коливання,

звичайно з частотою приблизно 20 Гц, створюються п'єзокварцевим або магнітострикційним перетворювачем.

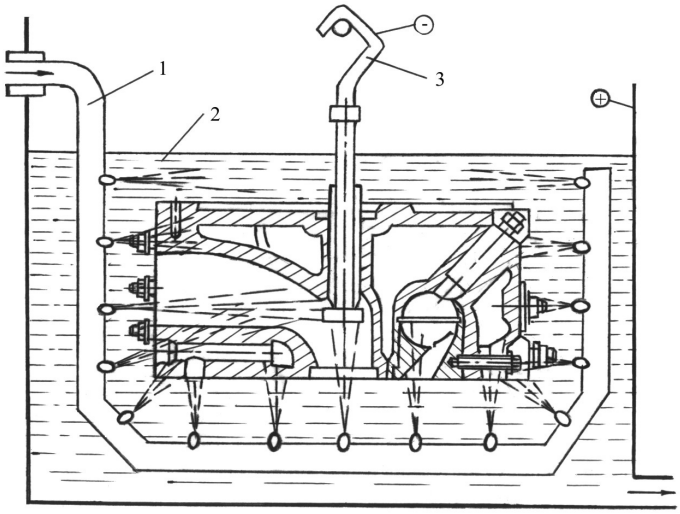


Рис. 14.8. Схема електрохімічного миття складальної одиниці: 1 *– ванна з електролітом;* 2 *– підведення електроліту для створення турбулентності;* 3 *– підвіска з вузлом, що промивається*

Деякі конструкції ванн для ультразвукового миття показані на рис. 14.9.

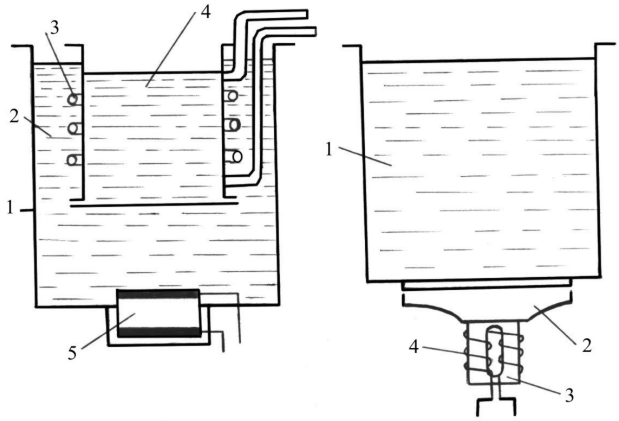


Рис. 14.9. Схема ванн ультразвукового миття: а – з п'єзокварцевим випромінювачем: 1 *– діафрагма;* 2 *– проміжне середовище (трансформаторне мастило);* 3 *– нагрівальний змійовик;* 4 *– посудина з миючим розчином;* 5 *– п'єзокварцевий випромінювач; б – з магнітострикційним перетворювачем:* 1 *– миючий розчин;* 2 *– перетворювач;* 3 *– трансформатор ультразвукових коливань;* 4 *– обмотка*

Дрібні стружки, ошурки і залишки абразиву, вилітаючи з великою швидкістю з отворів та заглиблень при обдуванні, можуть бути причиною травм складальника. Щоб запобігти цьому, на наконечник доцільно закріпити гумовий відбивач (рис. 14.10).

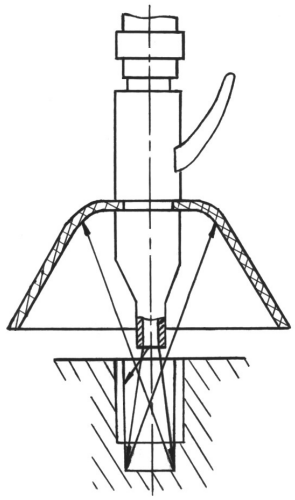


Рис. 14.10. Наконечник повітряного шланга для обдування деталей

Великогабаритні корпусні деталі за технічними міркуваннями часто миттю не піддають.

Після виконання припасувальних робіт в таких деталях можуть залишитись частки стружки і абразиву. Їх доцільно очищувати за допомогою висмоктування сторонніх часток під вакуумом.

Дрібні деталі, що випадково потрапили в складальну одиницю, зручно витягувати з важкодоступних місць постійним магнітом, який підвішують на гнучкому тросі.

Відполіровані, відшліфовані поверхні деталей, що поступають на складання після промивання, необхідно оберігати від корозії, яка виникає від дотику рук робітника і попадання на ці поверхні поту, який містить органічні кислоти і солі. Враховуючи це, на ряді операцій складальники повинні працювати в бавовняних, а в окремих випадках шкіряних рукавичках.

14.2. Методи та технологічні засоби складання типових з'єднань деталей

14.2.1. Види з'єднань деталей

З'єднання деталей поділяють на нерухомі та рухомі. Як нерухомі, так і рухомі з'єднання виконуються рознімними і нерознімними.

Рознімними називають з'єднання, які можуть бути розкладені без пошкодження з'єднаних елементів чи кріпильних деталей.

Нерознімними називають з'єднання, розкладання яких при експлуатації не передбачене і супроводжується або пошкодженням з'єднаних елементів, або

порушенням кріпильних деталей чи зкріплюючого шва.

До нерухомих рознімних з'єднань відносять різьбові, шпонкові та шліцьові. Ці з'єднання виконують в ряді випадків у поєднанні з перехідними посадками і з посадкою на конус.

До нерухомих нерознімних з'єднань відносяться з'єднання, виконані з гарантованим натягом, розвальцюванням, клепанням, зварюванням, паянням, склеюванням, до рухомих рознімних – шарикопідшипники.

14.2.2. Складання нерухомих рознімних з'єднань

Різьбові з'єднання

Різьбові з'єднання виконують за допомогою шпильок, болтів і гвинтів. Трудомісткість складання різьбових з'єднань у масовому виробництві складає 25–40 % від загальної трудомісткості складальних робіт. Тому на їх механізацію звертають велику увагу.

З'єднання різьбовими шпильками застосовують при безпосередньому з'єднанні плоских поверхонь або з прокладками між ними. З'єднанню передує укручування шпильок в корпусну деталь. При складанні відповідальних з'єднань різьбові шпильки вкручують в корпус з гарантованим натягом. В деяких випадках шпильки ставлять без натягу, але забезпечують їх стопоріння після вкручування, наприклад, за допомогою клею чи накернювання.

Основні методи вкручування шпильок показані на рис. 14.11. Ці способи недостатньо продуктивні. Застосування електрошпильковерта з саморозкриваючою головкою, а також спеціальних устаткувань, у багато разів підвищує продуктивність праці.

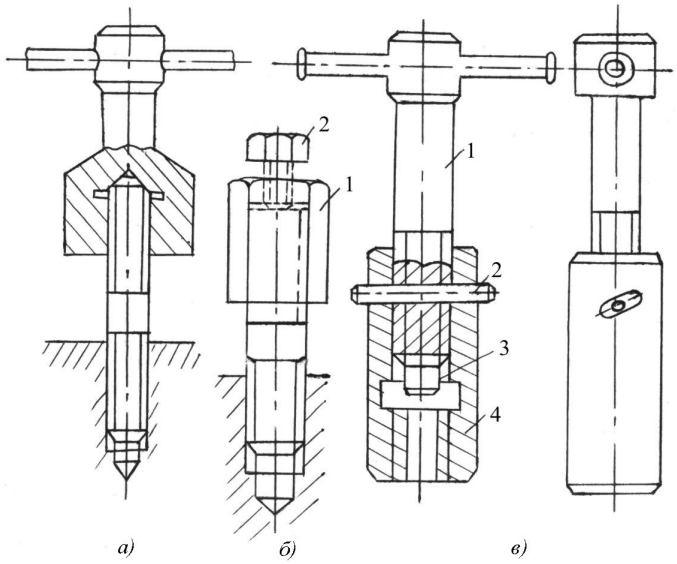


Рис. 14.11. Основні методи вкручування шпильок

Шпильки повинні бути перпендикулярними до площини з'єднання і мати задану висоту над цією площиною. Перпендикулярність шпильки може бути перевірена косинцем і щупом, а її висота – граничним шаблоном.

Різьбові з'єднання складають з попереднім затягуванням і без нього. Перші мають велике поширення, область застосування інших обмежена. Ступінь попереднього затягування різьбової деталі залежить від сил, які навантажують з'єднання. Забезпечення потрібного затягування різьбового з'єднання є відповідною частиною технології складання. Для виконання цієї вимоги застосовують: граничні ключі, які вимикаються при досягненні заданого моменту затягування, і динамометричні ключі із вказанням величини моменту затягування. В технічних умовах на складання відповідальних різьбових з'єднань вказують граничні значення осьової сили чи моменту затягування.

Затягування гайок і гвинтів при складанні повинно виконуватись у певному порядку (рис. 14.12). При прямокутній формі з'єднуваних деталей затягування гвинтів і гайок необхідно починати з середини, а не з країв. Гайки, що розташовані по колу, необхідно затягувати хрест-нахрест. Затягування кріпижу у довільному порядку може викликати жолоблення або перекошення деталі, що закріплюється. Затягування повинно виконуватись не тільки у певному порядку, але й поступово, в два-три прийоми, до повного затягування.

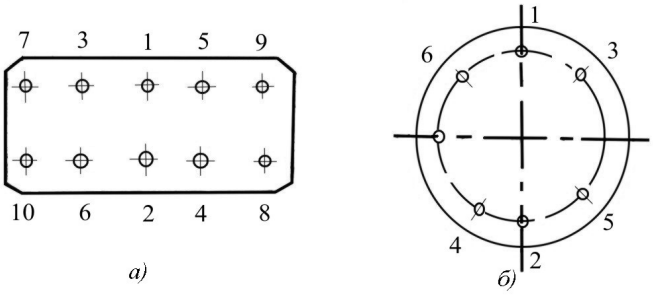


Рис. 14.12. Порядок затягування болтів (гайок) при груповому з'єднанні

Найпростіші способи складання болтових і гвинтових з'єднань в одиничному і дрібносерійному виробництві здійснюють гайковими ключами. Це пов'язано з великими затратами часу і не забезпечує рівномірність затягування.

Час на складання різьбових з'єднань скорочують застосуванням удосконалених ручних інструментів. До них відносяться: торцевий ключ, який застосовується для роботи у відкритих місцях, торцевий шарнірний ключ, а також тріщотковий і фрикційний ключі, які застосовуються у стиснених місцях, торцевий шарнірно-тріщотоковий ключ, який застосовується у важкодоступних місцях.

Механізація складання різьбових з'єднань в умовах масового і серійного виробництв, а також у важкому машинобудуванні досягається застосуванням електричних і пневматичних інструментів.

Виконання різьбових з'єднань у наш час нерідко автоматизують. Порівняно легко автоматизується складання гвинтових з'єднань, трохи гірше – складання з'єднань зі шпильками і болтових з'єднань.

Шпонкові з'єднання

В шпонкових з'єднаннях використовують призматичні, сегментні і клинові шпонки. При складанні шпонкового з'єднання з клиновою шпонкою вісь охоплюючої деталі зміщується відносно всі вала на величину половини посадочного зазору, що викликає радіальне биття (рис. 14.13). Невідповідність нахилу дна паза охоплюючої деталі нахилу шпонки призводить до перекошення деталі. В з'єднаннях з призматичними чи сегментними шпонками складання шпонки з валом виконується з натягом. Між верхньою площиною і дном паза охоплюючої деталі повинен бути зазор. В цьому випадку забезпечується центрування охоплюючої деталі.

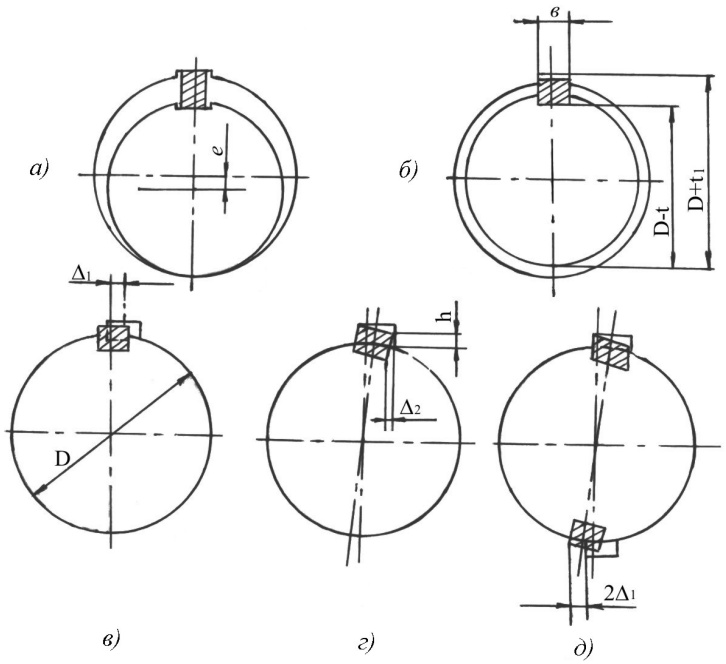


Рис. 14.13. Зміщення деталей шпонкового з'єднання при складанні

Шліцьові з'єднання

З'єднання деталей по шліцах дозволяє забезпечити більш точне центрування, ніж при з'єднанні деталей зі шпонкою, а також підвищену міцність. Поширені прямобічні, евольвенті та трикутні шліцьові циліндричні з'єднання. У прямобічному шліцьовому з'єднанні охоплююча деталь може бути центрована по зовнішній поверхні шліців, по поверхні западин або по бокових сторонах шліців. В з'єднаннях з евольвентними шліцами центрування здійснюється профілями зубів або по зовнішній поверхні шліців. При трикутних шліцах деталі центруються по бокових профілях шліців.

В залежності від застосовуваної посадки центруючих поверхонь шліцьові з'єднання можна віднести до однієї з таких груп: тугорознімні, легкорознімні та рухомі.

При складанні шліцьових з'єднань повна взаємозамінність навіть в умовах масового виробництва звичайно не досягається через дуже малі зазори, які витримуються в центруючих з'єднаннях.

Тугорознімні з'єднання виконуються під пресом. Іноді перед складанням виконують попереднє підігрівання охоплюючої деталі до температури 80–120 °С.

Після напресування охоплюючу деталь перевіряють на биття зі встановленням вала в центрах контрольного пристрою. При легкорознімних з'єднаннях посадка охоплюючої деталі відбувається під дією невеликої сили. В цьому випадку охоплюючі деталі, крім перевірки на биття, контролюють на хитання відносно вала, яке може бути наслідком зазору у з'єднанні.

Особливе значення в рухомих шліцьових з'єднаннях має співвісність охоплюючої деталі і шліцьового вала. При повній співвісності всі шліци вала мають контакт зі шліцами отвору (рис. 14.14, *а*). В тому ж випадку, якщо співвісність порушена, у постійному контакті теоретично буде знаходитись тільки один шліц (рис. 14.14, *б*), що погіршує умови роботи з'єднання. Цю обставину необхідно враховувати при складанні.

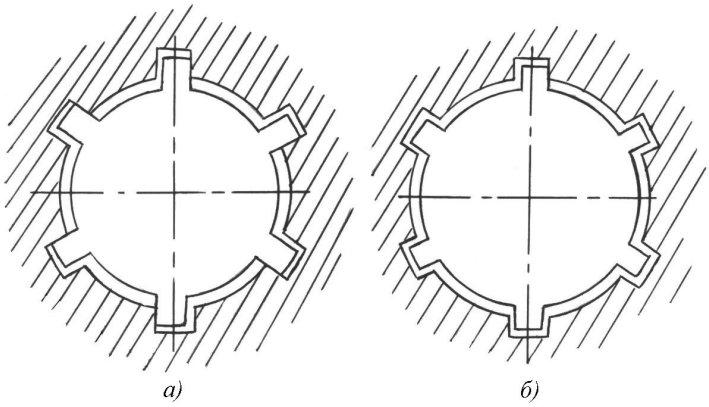


Рис. 14.14. Шліцьові з'єднання: а – при співвісності вала і втулки; б – при перекосі осей

З метою зниження напружень зминання на бокових поверхнях шліців з'єднання їх у важконавантажених відповідних з'єднаннях перевіряють також за допомогою фарби на прилягання.

Конічні з'єднання

Нерухомі конічні з'єднання часто застосовують замість циліндричних. Ці з'єднання забезпечують хороше центрування (рис. 14.15). Щільність посадки і необхідний натяг в конічному з'єднанні отримують в результаті напресування охоплюючого конуса на охоплюваний. Складання конічного з'єднання починається з

підбирання охоплюючої деталі по конусу вала. Перевірка виконується по фарбі, на хитання, а також по глибині посадки охоплюючого конуса на валу (рис. 14.16).

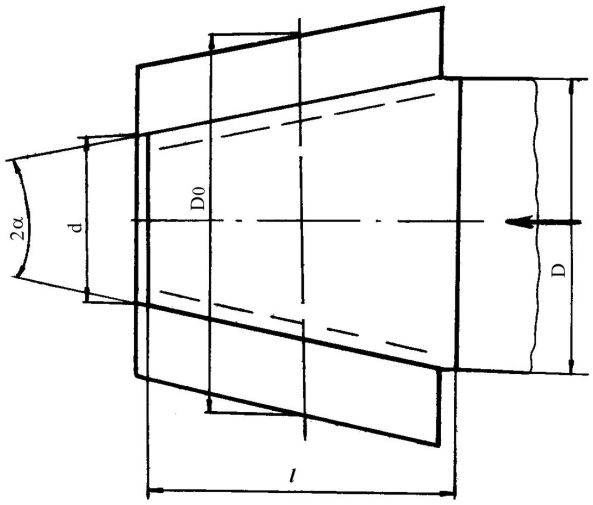


Рис. 14.15. Схема нерухомого конічного з'єднання

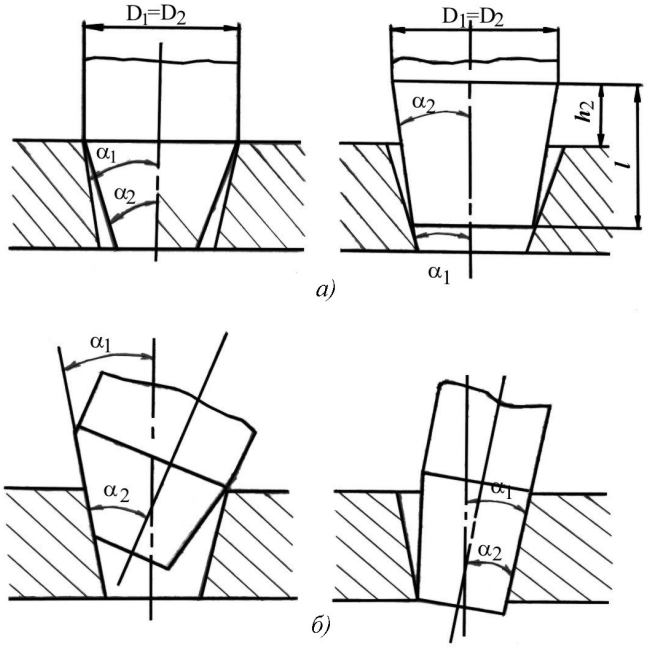


Рис.14.16. Похибки конічних з'єднань

Штифтові з'єднання

Штифтові з'єднання виконуються за допомогою конічних і циліндричних штифтів. Штифти застосовують не тільки як з'єднуваний, але також і у вигляді установчого елемента, що координує взаємне положення деталей, в які встановлено штифт. При штифтових з'єднаннях з посадкою на конус свердління і розвертання під штифт необхідно виконувати при складанні, інакше можуть виникнути похибки, які показані на рис. 14.17.

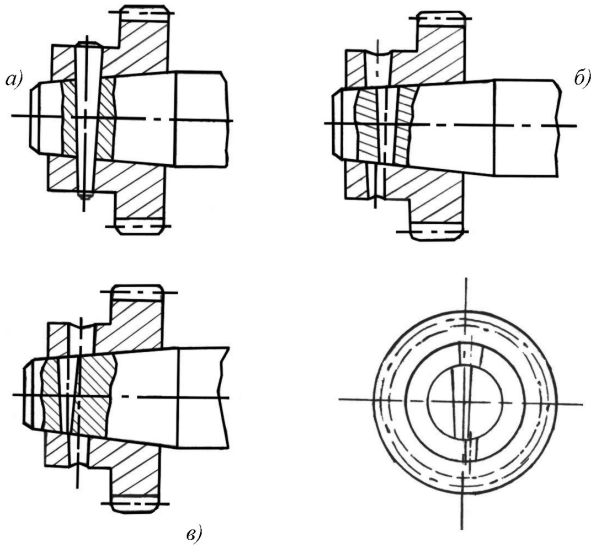


Рис. 14.17. Похибки складання складальних одиниць з конічними штифтами

14.2.3. Складання нерухомих нерознімних з'єднань

З'єднання з гарантованим натягом

Такі з'єднання виконують на пресах або шляхом теплової дії на з'єднувані деталі. Спроможність пресових з'єднань витримувати навантаження, що передаються, залежить від натягу, який визначає і силу запресовування.

На величину натягу впливають шорсткість посадочних поверхонь з'єднуваних деталей. Зі зменшенням шорсткості поверхні зростає міцність з'єднань, при великій висоті шорсткості частина їх при запресовуванні зминається і фактично отримуваний натяг зменшується.

Автоматизація складання з'єднань з гарантованим натягом застосовується для невеликих деталей типу втулок, пальців і штифтів. Ці деталі звичайно подаються з бункера на робочу позицію складального автомата.

Якість з'єднань з гарантованим натягом контролюють за величиною сили запресовування. При складанні відповідних з'єднань (колісні пари рухомого складу) знімають діаграму зміни сили запресовування, яка є паспортом цього з'єднання.

Складання з тепловою дією (рис. 14.18) забезпечує міцність з'єднання в 1,5–2,5 рази більше звичайних пресових посадок, оскільки в цьому випадку згладжування мікронерівностей не відбувається. Поверхні з'єднання можна обробляти менш ретельно. Теплові посадки доцільно застосовувати при великих діаметрах і незначній довжині з'єднання (бандажі коліс рухомого складу) (зубчасті вінці), а також для тонкостінних охоплюючих деталей. При складанні цих з'єднань під пресом можуть виникати перекоси і зминання охоплюючих деталей.

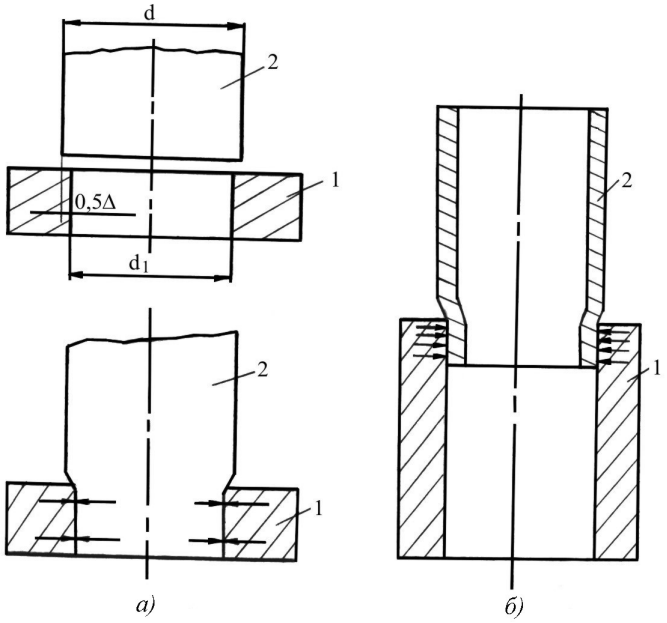


Рис. 14.18. Схеми з'єднань з нагріванням охоплюючої чи охолодженням охоплюваної деталей

Нагрівання великогабаритних деталей утруднене. В цих випадках застосовують охолодження охоплюваних деталей. Складання з охолодженням охоплюваної деталі має ряд переваг перед складанням з нагріванням деталі. При охолодженні не змінюється вихідна структура і фізико-механічні властивості металу. Час охолодження деталей, що охоплюються, (особливо тонкостінних) менший, ніж час нагрівання охоплюючи деталей. Охолодження виконують в рідкому азоті (температура – 195 °С).

При запресовуванні та складанні тепловою дією застосовують спеціальні пристрої для правильного встановлення з'єднуваних деталей. Для кращого направлення деталей на з'єднуваних поверхнях необхідно передбачати фаски або циліндричні пояски. Для попередження задирів поверхонь і зменшення сил запресовування застосовують мінеральне мастило чи мастило з дисульфідом молібдену. При складанні з'єднань, що працюють при підвищених температурах, шийку вала покривають спеціальним мастилом, яке містить графіт.

З’єднання, що одержуються методами пластичної деформації

Пластичну деформацію використовують при складанні з’єднань, натяг в яких створюється розширенням охоплюваної чи стисканням охоплюючої деталі.

Основне призначення з’єднань, отримуваних таким способом, – забезпечити нерухомість та герметичність від проникнення газів чи рідини.

Вони відносяться до тих з’єднань, що рідко демонтуються, оскільки їх розкладання в багатьох випадках супроводжується псуванням однієї або обох деталей. В конструкціях машин з’єднання цього типу мають велике поширення.

Поширеними видами пластичної деформації, що використовуються в конструкціях машин для створення нерухомості та щільності є: вальцювання, розширення, буртування, осадження, формування, обтискання (рис. 14.19).

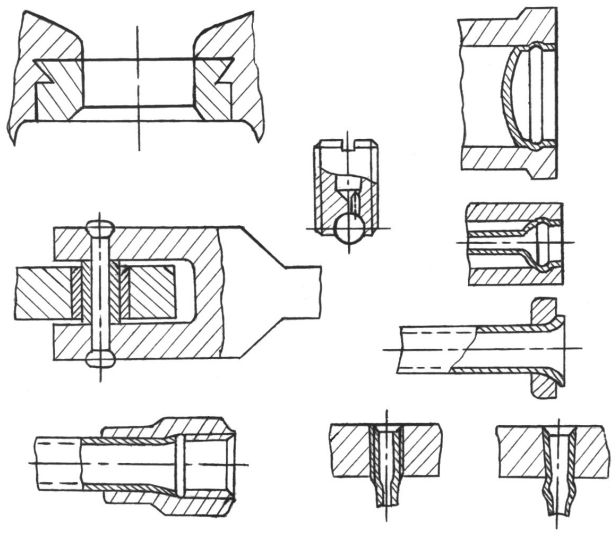


Рис. 14.19. Приклади з’єднань, що отримуються способом пластичної деформації

Клепання

Клепання застосовується для міцного і герметичного з’єднання деталей.

З розвитком технології зварювального виробництва область клепання поступово скорочується. Його застосовують в тих випадках, коли нагрівання з’єднуваних деталей небажане (сепаратори шарикопідшипників, вузли приладів і електроапаратури, рами автомобілів, закріплення плоских пружин, складання термічно оброблених деталей), а також при складанні деталей з різнорідних матеріалів (сталь – чавун, метал – пластмаса), зварювання і паяння яких утруднене, а склеювання не забезпечує потрібної міцності.

Для клепання застосовують стандартні заклепки з головками різного виду (рис. 14.20).

Клепання виконують в гарячому і холодному стані. Гаряче клепання застосовують для заклепок діаметром більше 14 мм. При гарячому клепанні заклепки

нагрівають до 1000–1100 °С, закінчується клепання при температурі 450–500 °С. Нижче цієї температури метал втрачає пластичність і набуває синьоламкості. Клепання виконується ударами чи прикладанням статичного навантаження. При великому обсязі клепання механізують. Для цієї цілі застосовують пневматичні клепальні молотки, клепальні скоби і клепальні машини.

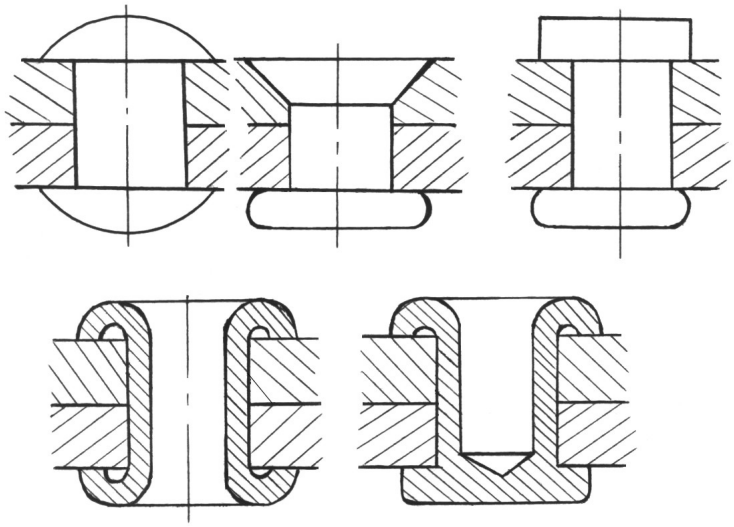


Рис. 14.20. Типи заклепок, поширених в конструкціях машин

Зварювання

Зварювання знаходить все більш широке застосування у сучасному машинобудуванні. Воно дає значну економію матеріалу і знижує трудомісткість виготовлення вузлів і виробів. Спеціальні електрозварювальні машини включають звичайно в загальний потік обробки деталей в механоскладальному цеху. Складальні роботи при зварюванні передбачають правильне положення з'єднуваних деталей та їх тимчасове скріплення. Правильність з'єднання контролюють вивіренням або встановленням у пристрій. Застосовувані методи зварювання наведені у табл. 14.2.

Таблиця 14.2

Характеристика основних способів зварювання

Спосіб зварювання	Матеріал зварювальних вузлів	Товщина, яку рекомендують, або перетин елементів, які зварюються, мм	Тип зварювального з'єднання
1	2	3	4
Електродугове ручне металевим електродом	Сталь, алюмінієві сплави	≥1,5–2	У стик, в напуск з відсортовуванням, таврові
Автоматичне під флюсом	Сталь	>2–2,5	У стик, в напуск з відсортовуванням, таврові

Закінчення табл. 14.2

Електродугове вугільним електродом	Низьковуглецева сталь, алюміній, мідь	≤ 4 ≤12	У стик з відбортовуванням
Аргонодугове	Нержавіюча сталь, алюмінієві та магнієві сплави	≤ 4	У стик, таврові, з відбортовуванням
Атомно-водородне	Леговані сталі	≤ 8	У стик, таврові, з відбортовуванням
Газове	Сталь, алюмінієві, мідні та спеціальні сплави	≤ 8 ≤ 10	Те ж У стик з відсортовуванням
Газопресове	Сталь	≤ 25000 см^2	У стик
Контактна стиковим оплавленням	Сталь і алюмінієві сплави	≤ 25000 см^2	У стик
Контактне стиковим опором	Сталь, алюмінієві та мідні сплави	Прутки ≤ 10	У стик
Точкове	Сталь низьковуглецева легована, нержавіюча, алюмінієві та мідні сплави	≤ 12 ≤ 10 ≤ 6 ≤ 2,5	В напуск
Роликове тертям	Сталь низьковуглецева легована, нержавіюча, алюмінієві та мідні сплави Сталь вуглецева, легована, кольорові сплави	≤ 1,5–2 Деталі круглого або кільцевого перерізу ≤ 30–40	В напуск У стик
Електрошлакове	Сталь вуглецева і легована	200–600 і більше	У стик
Конденсаторне	Сталь вуглецева, легована і нержавіюча	0,03–0,06	В напуск
Ультразвукове	Однорідні та різнорідні метали і сплави	0,05–0,6	В напуск
Електронним променем у вакуумі	Хімічно активні та тугоплавкі метали і сплави	≤10–15	У стик

За останній час з’явилися нові методи зварювання, такі як плазмове, квантове, дифузне тощо.

Ультразвуком зварюють органічне скло, вініпласт, поліетилен, хлорвініл, полістирол.

Паяння

Паянням називається процес одержання нерознімного з'єднання двох або декількох деталей із застосуванням присадочного металу-припою шляхом їх нагрівання у складеному вигляді до температури плавлення припою. Розплавлений припой затікає в спеціально створювані зазори між з'єднуваними деталями і дифундує в метал цих деталей. При цьому протікає елементарний процес взаємного розчину металу деталей і припою, в результаті чого створюється сплав, більш міцний, ніж припой.

Приклади різних з'єднань, складених під паяння, показані на рис. 14.21.

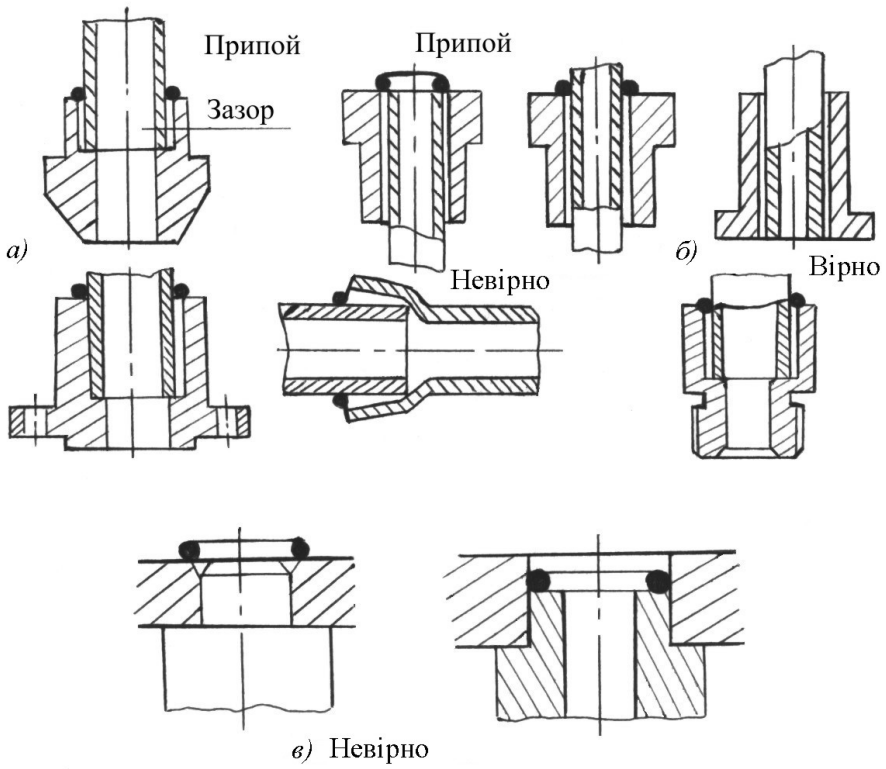


Рис. 14.21. З'єднання, зібрані під паяння

Розрізняють паяння твердими (на срібній, мідній та нікелевій основах) і м'якими (олов'яносвинцевистими) припоями. Тверді припої мають температуру плавлення вище 550 °С. У м'яких припоїв температура плавлення нижче 400 °С.

При паянні застосовують різні флюси. Їх склад залежить від матеріалу з'єднуваних деталей, припою, методу паяння.

В одиничному та дрібносерійному виробництвах широке застосування мають

способи паяння термічним контактом (паяльником) і газовою пальничкою, у великосерійному і масовому виробництвах нагрівання деталей здійснюється у ваннах і газових пічках, а також широко застосовується електронагрівання.

В наш час на багатьох заводах впроваджуються різні засоби механізації паяння, включаючи індукторне нагрівання.

Перспективним напрямком розвитку технології паяння металів і неметалічних матеріалів є використання ультразвуку.

Склеювання

Склеювання дозволяє виконувати з'єднання з різнорідних матеріалів, зменшувати вагу виробів, забезпечувати герметичність та корозійну стійкість клейових швів. У порівнянні зі зварними, паяними і клепаними з'єднаннями клейові з'єднання дають рівномірний розподіл напружень в з'єднуваних матеріалах і не викликають їх жолоблення. Клейові з'єднання добре працюють на зсув, рівномірний відрив і погано на нерівномірний відрив (віддирання), добре переносять динамічні та змінні навантаження.

До недоліків клейових з'єднань відноситься їх незначна теплова стійкість (для більшості клеїв вона не перевищує +90 °С) і схильність до повзучості при тривалій дії великих статичних навантажень.

Клеї можна поділити на такі основні групи:

1. Клеї на основі епоксидних смол, які застосовують при холодному і гарячому з'єднанні металів, кераміки, пластмас, деревини та інших матеріалів.
2. Клеї на основі фенольних смол, які модифікуються різними складовими.
3. Поліуретанові клеї (наприклад, клеї ПУ2).
4. Спеціальні клеї, які мають підвищену теплостійкість, яка досягає 500 °С і вище.

При склеюванні з'єднувані поверхні деталей очищують, знежирюють і в деяких випадках обробляють механічним або хімічним шляхом для одержання шорсткості, яка забезпечує найкраще утримання клею.

14.3. Складання типових вузлів машин

14.3.1. Складання вузлів з підшипниками ковзання

Основними показниками якості монтажу валів є:

1) легкість обертання вала у підшипниках;
2) відсутність вібрації при обертанні;
3) радіальне та осьове биття, що не перевищує встановленої межі;
4) точність положення вала відносно основних баз корпусу, в якому змонтований вал;
5) забезпечення сталої температури підшипника при нормальному навантаженні не вище 60 °С.

Безпосередньо до складених підшипників ковзання висуваються такі вимоги:

1) щільність прилягання втулки чи вкладиша по всій поверхні отвору корпусу;
2) граничний зазор між заплечиками вкладиша і торцевого поверхнею корпусу і кришки до 0,05 мм;

3) відповідність величини зазору між поверхнями ковзання вала і отвору підшипника встановленим межам;

4) радіуси переходів в плечиках вала повинні бути меншими відповідних радіусів заокруглень в підшипниках для запобігання заклинюванню.

Забезпечення більшості перелічених вимог залежить від величини зазору між валом і підшипником, тобто треба забезпечити точність розмірів і форми з'єднуваних поверхонь вала і підшипника.

Точність вала забезпечується, як правило, при його виготовленні, а точність розмірів і форми отвору підшипника – при складанні.

Підшипники ковзання поділяють на суцільні (втулки) і розрізні (вкладиші). Останні, в свою чергу, поділяються на товстостінні (S/D = 0,065÷0,095) і тонкостінні (S/D = 0,025÷0,045).

Втулки запресовують у корпус з гарантованим натягом за 7, 8, і 9 квалітетом точності ударами, на пресах і з охолодженням із застосуванням пристроїв (рис. 14.22). Іноді втулки встановлюються на клею. На з'єднуваних деталях повинні бути фаски.

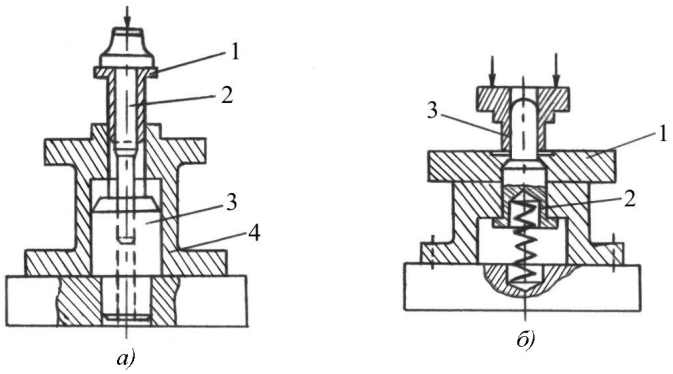


Рис. 14.22. Схеми пристосувань для запресовування втулок

Якщо втулки мають бурти, то при виготовленні вони повинні бути підрізані з базою на з'єднувану поверхню для забезпечення перпендикулярності.

Після закріплення втулок просвердлюють отвори для змащування і потім внутрішню поверхню втулки піддають тонкому розточуванню, розвертанню, калібруванню зміцнюючими оправками чи шариками, а також розкатуванню.

Співвісно розташовані втулки після запресовування розточують за одне встановлення чи розвертають подовженою або насадною розверткою.

При контролі перевіряють діаметр і форму внутрішніх поверхонь, співвісність втулок і щільність прилягання буртів (калібри і щуп).

Співвісність підшипників під багатоопорні вали перевіряють контрольними оправками, на великогабаритних вузлах застосовують струну, коліматор, телескоп, а також промінь квантового генератора.

Вкладиші (товстостінні) (у одиничному і дрібносерійному виробництві) спочатку припасовують до гнізд корпусної деталі з невеликим натягом (20–60 мкм), або по посадці з найменшим зазором (Н). Від зміщення їх фіксують установчими штифтами. Прилягання повинно бути рівномірним (перевірка по фарбі), інакше погіршиться

тепловіддача підшипник – корпус.

Після припасування гнізд пришабрують поверхні ковзання вкладишів до шийок з'єднуваного вала. Перевірка – на фарбу, плями повинні покривати 75–85 % поверхні, при цьому при складанні підшипників стики кришок з корпусом і стики вкладишів повинні прилягати без зазорів.

При складанні відповідальних підшипників якість припасування перевіряють по блиску на поверхнях вкладишів після затягування підшипника і обертання вала на два-три оберти. Остаточне припасування вкладишів проводять з кришками підшипників. Гайки підшипника затягують динамометричним ключем, і вал прокручують на два-три оберти. Потім ці гайки послаблюють, затягують гайки наступного підшипника, і вал знову прокручують і т.д. Далі всі підшипники розкривають і остаточно пришабрують верхні та нижні вкладиші. Операцію повторюють декілька разів, до тих пір, поки не буде досягнуто потрібної якості прилягання.

Радіальні зазори визначають прокручуванням вала з каліброваними латунними пластинками між шийкою вала і верхнім вкладишем. В підшипниках великих розмірів при значних зазорах застосовують свинцеві дротики, по деформації яких роблять висновок про зазор. В деяких конструкціях підшипників для регулювання зазору передбачені комплекти прокладок товщиною 0,05–0,08 мм.

Осьові зазори перевіряють щупом або індикатором при граничних зміщеннях вала. Звичайно осьові зазори складають 01–8 мм.

Вкладиші (товстостінні) у великосерійному та масовому виробництві повинні бути взаємозамінними, складатися без припасувальних робіт у такому порядку:

– укладання нижніх вкладишів;

– змащування їх поверхонь ковзання;

– укладання вала;

– встановлення верхніх вкладишів і кришок з постановкою необхідної кількості прокладок (чи без них);

– попереднє та остаточне затягування гайок динамометричним чи граничним ключами;

– перевірка легкості обертання;

– шплінтування гайок;

– контроль.

Вкладиші (тонкостінні) – біметалеві стрічки, δ 1–2,5 мм, антифрикційний сплав 0,4–0,9 мм (в автотракторних двигунах), взаємозамінні, посадочна поверхня – за 7-м квалітетом, конусоподібність та овальність – не більше 0,01…0,015 мм на 100 мм діаметра. Правильність форми вкладишів перевіряють по фарбі в спеціальному пристрої під стандартним навантаженням, середня частина вкладишів повинна бути зафарбована на 90 %, а решта – на 76–80 %.

Вкладиші складують у гнізда і фіксують від переміщення шпорами чи вусами, що входять у відповідні поглиблення гнізд з'єднуваної деталі. Натяг створюється гайками при складанні підшипника. При цьому на стику вкладишів не повинно бути зазору (інакше буде чи зазор, чи натяг).

14.3.2. Складання з'єднання з підшипниками кочення

До складених підшипників *кочення* висуваються такі вимоги:

1) легкість обертання підшипників від руки, а при робочій частоті обертання – відсутність окремих різких звуків на фоні рівномірного шуму;

2) перпендикулярність торцевих поверхонь кілець по відношенню до шийки вала чи осі отворів корпусу;

3) щільність прилягання зовнішнього кільця підшипника, закріпленого у вузлі, до упорного заплечика вала чи до упорного заплечика корпусу (внутрішнє кільце підшипника із затяжною втулкою повинно за допомогою гайки і конусної втулки бути щільно затиснутим на шийці вала);

4) відповідність величини осьових зазорів в радіально-упорних і упорних підшипниках розмірам, встановленим державним стандартом;

5) максимально допустима температура підшипника при нормальному навантаженні – 60 °С.

Особливості монтажу підшипників кочення полягають в тому, що не можна для досягнення тих чи інших параметрів точності застосувати припасування.

Довговічність підшипників, перш за все, залежить від правильно вибраної посадки за державним стандартом встановлено такі посадки: n5, n6, m5, m6, k5, k6, h5, h6, g5, f7 – підшипник – вал; N5, N6, M5, M6, K5, K6, H5, H6, G5, F7 – підшипник – корпус), відсутності перекосів, пошкодження та забруднення деталей з'єднання.

Поверхні валів і корпусів, що з'єднуються з підшипниками кочення, повинні бути чистими, мати правильну геометричну форму. Упорні буртики повинні бути перпендикулярними посадочним поверхням.

Перед складанням:

– підшипники мають бути стандартно промиті у 6 %-ому розчині мінерального мастила в бензині або в гарячому (75–85 °С) антикорозійному розчині (1 % триетаноламіну, 0,2 % нітратанатрію, 0,1 % змочувача ОП, решта – вода). Для очищення дрібних підшипників застосовують ультразвук.

Після промивання підшипник перевіряють на легкість обертання, шум і на спеціальному пристрої вимірюють ексцентриситети внутрішнього та зовнішнього кілець, і помічають, в який бік цей ексцентриситет спрямований.

З'єднувані поверхні корпусу також промивають, просушують, вимірюють неспіввісність отворів і помічають їх напрямок.

Складання:

1) в залежності від виду з'єднання запресовують чи внутрішнє кільце на вал, чи зовнішнє в корпус, із застосуванням відповідно *нагрівання* та *охолодження*

$$\Delta t \geq \delta/\alpha d,$$

де Δt – різниця температур, яка компенсує натяг;

δ – натяг;

α – коефіцієнт лінійного розширення (для сталі $\alpha = 1{,}1 \cdot 10^{-5}$ 1/град);

d – діаметр кільця.

Температура нагрівання підшипника не повинна перевищувати 100 °С, інакше можливе погіршення властивостей матеріалу підшипника. Для охолодження використовують тверду вуглекислоту t = 75–77 °С.

2) при цьому треба забезпечити виконання умови:

$$З_ф = e - \Delta'_e - \Delta_{e''} \geq З_{min},$$

де $З_ф$ – фактичний зазор у підшипнику;

e – конструктивний зазор у підшипнику;

Δ'_e – зменшення зазору між біговою доріжкою та тілами кочення, викликаного пружними деформаціями при напресовуванні:

$$\Delta'_e = \frac{0{,}8\delta dk}{d + 5{,}85\left(1 - k^2\right)} \approx (0{,}65 - 0{,}6)\delta;$$

K = d/dn – приведений діаметр внутрішнього кільця [з довідника];

Δ''_e – зменшення того ж зазору від теплового розширення кілець:

$$\Delta''_e = 1{,}1 \cdot 10^{-5} d_1 t;$$

d_1 – діаметр доріжки кочення внутрішнього кільця підшипника.

Далі потрібно визначити зусилля запресовування:

$$P = \frac{\delta_ф f E \pi B}{2N},$$

де f = 0,1…0,15 – при запресовуванні;

f = 0,15…0,25 – при зніманні;

$$N = \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{d_0}\right)^2};$$

$$d_o \approx d + \frac{D - d}{4},$$

d – номінальний діаметр отвору внутрішнього кільця, мм;

d_o – приведений діаметр отвору внутрішнього кільця, мм.

Зменшення радіального биття:

– підібрати підшипники з ексцентриситетами, рівними (або близькими) ексцентриситетам вала у відповідних перерізах;

– змонтувати підшипники так, щоб ексцентриситети були в одній площині з валом і спрямовані в різні боки.

Наприклад, ексцентриситет конічного отвору шпинделя відносно передньої опорної шийки (ланка A_1 на рис. 14.23, *б*) можна компенсувати ексцентриситетом внутрішнього кільця підшипника відносно бігової доріжки зовнішнього кільця (ланки A_2 і A_3), якщо спрямувати ексцентриситети в протилежні боки в одній площині.

Якщо радіальне биття в опорах усунути повністю не вдається, то треба намагатись розташувати його по один бік осі обертання в кожній опорі. При цьому бажано, щоб биття вала в передній опорі було меншим ніж в задній. Це зменшить биття кінця вала (рис 14.24, *а*, *б*).

Навпаки, якщо необхідно зменшити радіальне биття вала, то радіальне биття в опорах необхідно спрямувати в протилежні боки від осі обертання (рис. 14.24,*в*).

Осьове биття вала усувається за рахунок точного виконання операції підрізання заплечиків вала (додержання допуску перпендикулярності та радіуса заокруглень).

Забезпечення паралельності осі обертання вала основним базам корпусної деталі в двох координатних площинах.

Причини відхилень (рис. 14.25):

а) відхилення від паралельності осей отворів під опори вала в корпусній деталі;

б) ексцентричність поверхонь зовнішніх кілець підшипників кочення.

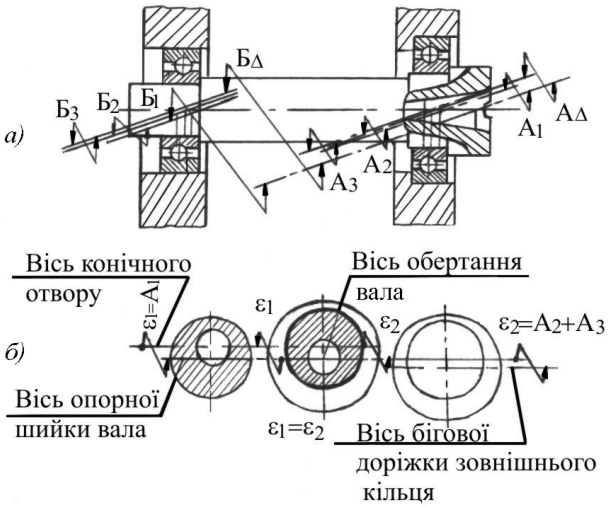


Рис. 14.23. Схеми розмірних ланцюгів, що визначають радіальне биття конічного отвору шпинделя, змонтованого на опорах кочення

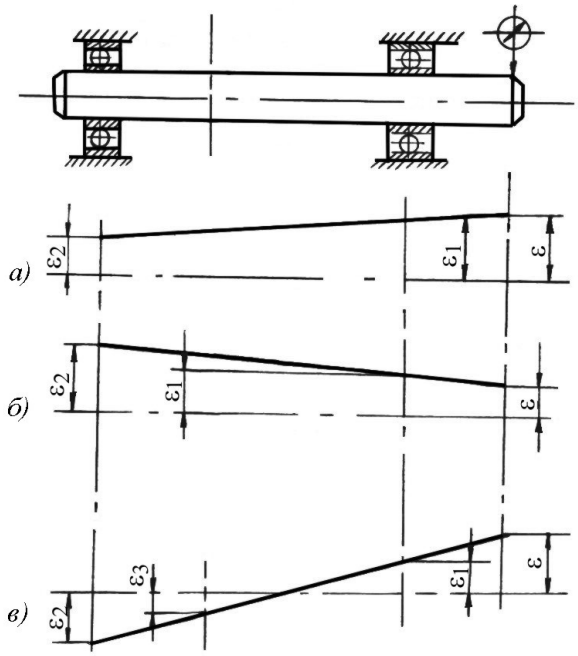


Рис. 14.24. Способи зменшення радіального биття вала

Зменшення похибок рис. 14.26, *а*.

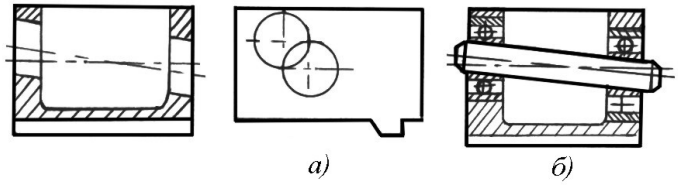


Рис. 14.25. Поворот осі обертання вала відносно основних баз корпусу

Для усунення ω_{max} потрібно:

– підібрати підшипник так, щоб його зовнішнє кільце мало ексцентриситет є (рис. 14.26, *б*), рівний ω_{max};

– намітити радіальну площину, в якій ω_{max} розташовується у корпусній деталі з боку, протилежного найбільшому зміщенню осі отвору;

– знайти у зовнішнього кільця радіальну площину, в якій розташовується найбільший ексцентриситет ε_1, відмітити ексцентриситет з боку тонкої стінки;

– змонтувати підшипник так, щоб похибка ексцентриситету була спрямована в бік, протилежний ω_{max}, тобто щоб збіглись намітки на корпусі і зовнішньому кільці підшипника (рис. 14.26, *в*).

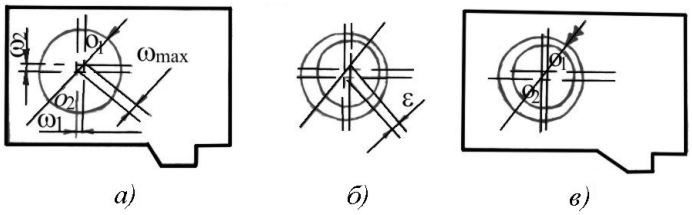


Рис. 14.26. Зменшення похибки повороту осі обертання вала відносно основних баз корпусу: O_1 – вісь обертання (потрібне положення); O_2 – вісь отвору в корпусі; ω_{max} – максимальне зміщення осі отвору в корпусі

При монтажу другої опори всі перелічені операції повторюють.

Монтаж конічних роликових підшипників проводять нарізно. Внутрішнє кільце з роликами і сепаратором напресовують на вал, а зовнішнє встановлюють в корпус.

Регулювання радіального зазору в такому підшипнику досягається шляхом осьового зміщення кільця на величину С (рис. 14.27):

$$e = ctg\beta;\ \lambda = c\sin\beta,$$

де e – радіальний зазор;

c – осьове зміщення кільця;

λ – зазор по лінії тиску;

β – кут конуса.

Зазор регулюють за допомогою прокладок, регульованого гвинта чи гайки.

Демонтаж підшипників кочення здійснюють під пресом або спеціальним зйомником.

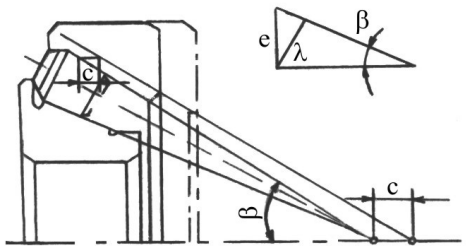


Рис. 14.27. Схема регулювання зазору конічної роликовальниці

14.3.3. Складання зубчастих та черв'ячних передач

Загальні відомості

Складені зубчасті передачі повинні задовольняти такі вимоги:

1) міцність для передачі потрібних колових зусиль;

2) кінематична точність, тобто взаємне положення зубчастих коліс повинно відповідати складальному кресленню машин;

3) плавність та безшумність в роботі, тобто передача повинна легко та рівномірно прокручуватись вручну, а при роботі від двигуна видавати звук рівний, без ударів і посилень;

4) величини радіальних і бокових зазорів, а також плями торкання на робочих поверхнях повинні бути в межах допусків, встановлених технічним завданням;

5) корпуси і кожухи закритих передач не повинні виявляти течі мастила і найбільша стала температура його при роботі передачі під навантаженням не повинна перевищувати 65 °С при температурі повітря приблизно 20 °С.

6) відсутність заклинювання при нагріванні.

Складання зубчастих передач включає такі операції:

1) перевірка взаємного положення валів і осей передач;

2) посадка на вал і закріплення зубчастих коліс;

3) забезпечення необхідного радіального і бокового зазорів;

4) перевірка дотику робочих поверхонь зубів;

5) монтаж всього вузла передачі на машині у випадках, якщо зубчасту передачу складено в окремому корпусі (наприклад, в корпусі редуктора).

Перевірка взаємного положення валів і осей забезпечується при монтажу валів на підшипниках і перед складанням зубчастих передач проводиться тільки перевірка за допомогою приладу або рівня та штихмаса (рис. 14.28).

Посадку зубчастих коліс на вал здійснюють, як правило, з невеликим натягом (на пресах із застосуванням центруючих пристроїв) чи навіть з зазором. Необхідно виключати посадки зубчастих коліс на шийках вала з великим натягом, щоб не було викривлення зубчастого профілю, що відбивається на роботі зчеплення.

При встановленні зубчастих коліс зустрічаються такі похибки:

– хитання зубчастого колеса на шийці вала;

– радіальне биття зубчастого колеса (вінця);

– торцеве биття;

– нещільне прилягання колеса до упорного буртика вала.

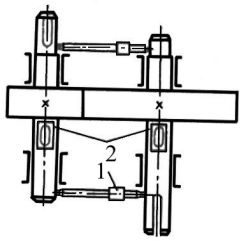


Рис. 14.28. Перевірка паралельності валів

Контроль зубчастих коліс проводять наступним чином.

Хитання колеса перевіряють легким обстукуванням м'яким молотком.

Щільність прилягання до упорного буртика перевіряють щупом.

Радіальне і осьове биття контролюють рейсмусом чи індикатором 1 (рис. 14.29) в залежності від потрібної точності складання на плиті чи на місці встановлення передачі 2. У першому випадку вал розміщують на плиті призми 3 і шляхом зміни висоти однієї з регульованих призм добиваються паралельності осі вала площині плити. Після цього між зубцями коліс розміщують циліндричний калібр 4 (чи ролик), в який впирають кінець стиржня індикатора, і замічають положення стрілки.

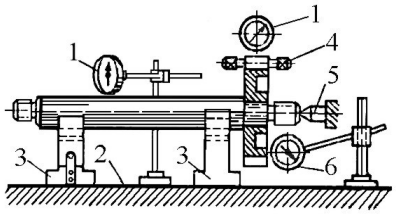


Рис. 14.29. Перевірка вузла "зубчасте колесо-вал" на биття

Обертаючи вал і перекладаючи калібр через 3–4 зуба, визначають різницю в показах індикатора для всього колеса, яка і дає величину радіального биття колеса (звичайно воно допускається в межах 25–75 мкм).

Більш точні зубчасті передачі перевіряють також на торцеве (осьове) биття індикатором 6 (допускається в межах 0,10…0,15 мм). Для цього в пристрої необхідно передбачити центр 5 для упора вала.

У великосерійному і масовому виробництвах якість посадки колеса на вал контролюють на індикаторному пристрої при беззазорному зчепленні з еталонним зубчастим колесом. При обертанні складеного з'єднання неточність зчеплення викликає переміщення еталона, яке відмічається індикатором. Одночасно можна контролювати і торцеве биття зубчастого колеса.

Якщо при перевірці коліс на биття відхилення будуть отримані більше допустимих, то необхідно демонтувати зубчасті колеса, випресувати втулки, виправити гнізда, запресувати нові втулки і розточити їх. Колеса замінюють в тому випадку, якщо їх не можна розточити і запресувати в них нові втулки. Після цього проводять повторний контроль.

Забезпечення необхідного радіального та бокового зазорів. При встановленні валів із зубчастими колесами в корпус, як правило, зчеплення задовольняє технічним вимогам, якщо всі елементи з'єднання виконані в межах допусків.

Проте і за цієї умови можуть виникнути дефекти зчеплення в результаті несприятливого поєднання відхилень, кожне з яких знаходиться в межах допуску. Найбільш типовими дефектами зчеплення є:

а) збільшений зазор між зубцями по всьому вінцю в результаті відхилення в плюс відстані між осями отворів корпусу (A_Δ на рис. 14.30) і найбільшого відхилення у мінус товщини зубців (С на рис. 14.30);

б) недостатній зазор між зубцями по всьому вінцю при найменшій граничній відстані між осями (A_Δ на рис. 14.30) і найбільшій граничній товщині зубців (С на рис. 14.30);

в) нерівномірний зазор між зубцями як результат радіального биття зубчастого вінця відносно осі обертання та нерівномірної товщини зубців одного з коліс;

г) биття по торцю зубчастого колеса в результаті перекосу осі отвору колеса і осі отвору корпуса.

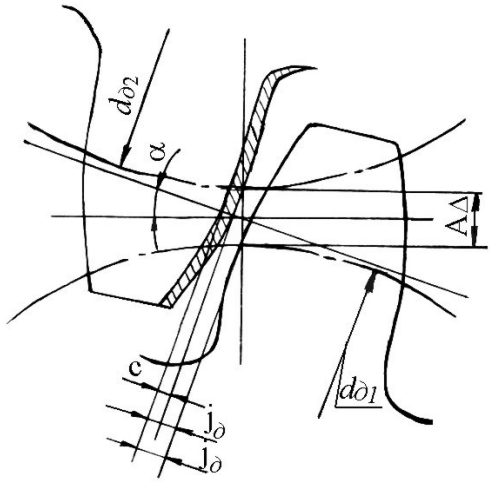


Рис. 14.30. Складові частини допуску на боковий зазор у зубчатому зачепленні

Ці дефекти можуть бути усунені підбором коліс при складанні виробу.

В умовах великосерійного і масового виробництва при складанні зубчастих передач виконання технічних вимог забезпечується відповідними технічними умовами на всі елементи з'єднання, що складається, а також стабільністю технологічного процесу складання.

Незалежно від ступеня точності коліс і передач встановлюють *норми нормального гарантованого бокового зазору* (який позначається літерою Х), що забезпечує компенсацію зменшення бокового зазору від нагрівання передачі. Норми гарантованого бокового зазору допускається змінювати. При цьому для циліндричних, конічних і черв'ячних передач застосовують одне із наступних з'єднань: С – з нульовим гарантованим зазором; Д – із зменшеним гарантованим зазором; Ш – зі збільшеним гарантованим зазором.

Боковий зазор j_∂ (рис. 14.30) між неробочими поверхнями зубів коліс визначають

щупом чи вузькою пластинкою свинцю, які прокатують між зубцями. Товщину розкатаної пластини вимірюють мікрометром. Крім того, застосовують спеціальні пристрої (рис. 14.31).

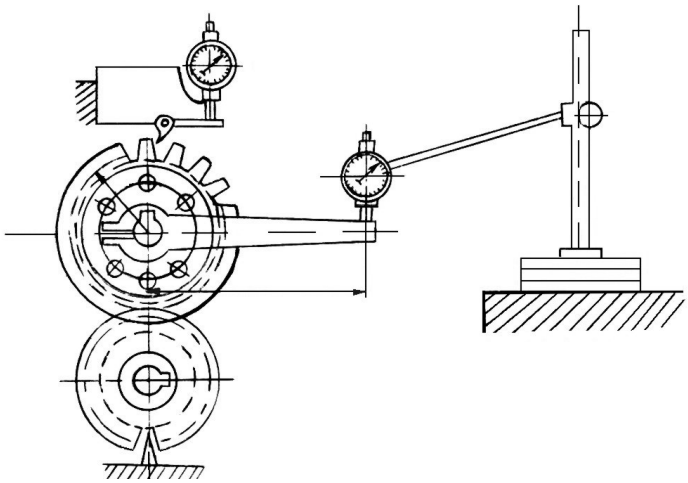


Рис. 14.31. Схема вимірювання бокового зазору у зчепленні

Перевірка дотику робочих поверхонь зубів. Якість зчеплення зубчастих коліс перевіряють також на фарбу. При обертанні ведучого колеса, бокові поверхні зубів якого покриті тонким шаром лазурі, на веденому колесі плями фарби повинні покрити середню частину бокової поверхні зубців (рис. 14.32, *а*). При неправильному контакті плями фарби зміщуються (рис. 14.32, *б–г*).

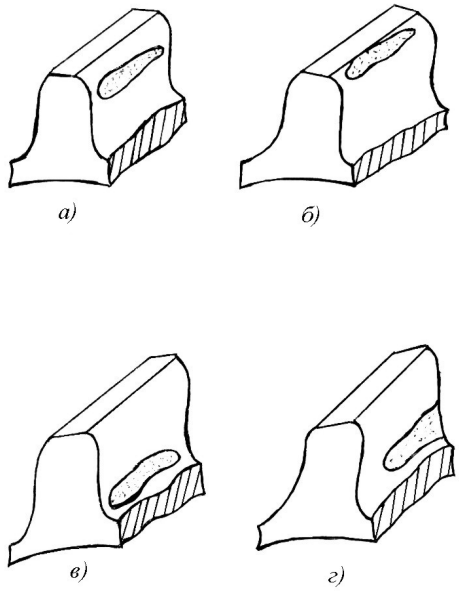


Рис. 14.32. Форми плям при контролі зчеплення на фарбу

Таблиця 14.3

Величина плями контакту зубців у передачі (у %)

Пляма контакту	Ступінь точності								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
По висоті	65	60	55	50	45	40	30	25	20
По довжині	95	90	80	70	60	50	40	30	25

При складанні рекомендується застосувати обкатування зубчастих коліс в парі при нормальній міжцентровій відстані в корпусі редуктора після його складання.

Особливості складання конічних зубчастих передач

При складанні конічних зубчастих передач контролюють биття конуса виступів, найменший боковий зазор і прилягання (контакт) робочих поверхонь зубців, а також (за необхідності) перетин осей, відхилення міжосьового кута і зміщення вершини ділильного конуса.

Правильність перетину осей передачі перевіряють за допомогою оправок 1, кінці яких зрізані вздовж осі (рис. 14.33, *а*). Оправку встановлюють в отвір корпуса, і щупом вимірюють зазор між їх зрізаними пластинками. Отриману величину порівнюють з величиною, що отримана в результаті розрахунку розмірних ланцюгів (рис. 14.34).

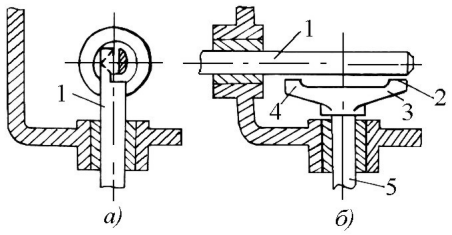


Рис. 14.33. Перевірка осей конічної передачі

Кут між осями конічних зубчастих коліс перевіряють за допомогою гладкої контрольної оправки (рис. 14.33, *б*) і оправки 5 з наконечниками 3. Різниця величин зазорів між контрольною оправкою 1 і площинами 4 і 2 наконечника 3 свідчать про неточність кута між осями коліс.

Потрібний зазор між зубцями досягають шляхом регулювання зчеплення, тобто переміщенням коліс в осьових напрямках. При цьому переміщають обидва колеса, або одне з них. Регулювання здійснюють набором прокладок чи за допомогою регульованих гайок. Найбільшу сумарну величину прокладок визначають розрахунком відповідних розмірних ланцюгів (рис. 14.34). Застосовують сталеві чи латунні прокладки товщиною 0,005–1,5 мм. Набір прокладок встановлюють під опорні поверхні коліс.

Зазор С і величина осьового переміщення коліс χ при куті зчеплення α і куті вихідного конуса φ зв'язані

$$c = \chi 2 \sin\alpha \sin\varphi.$$

Для спрощення регулювання зчеплення одне із зубчастих коліс попередньо встановлюють за координатою, заданою кресленням. Після його закріплення зазор регулюють осьовим переміщенням другого колеса.

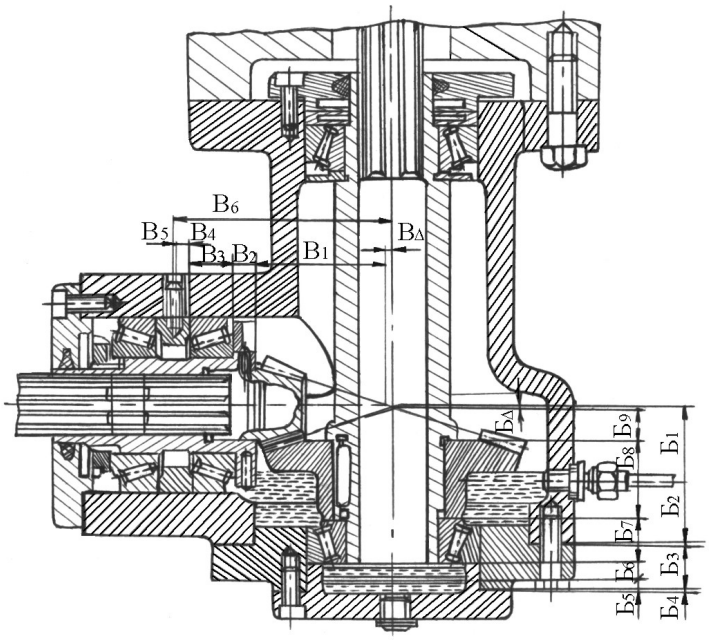


Рис. 14.34. Схеми розмірних ланцюгів, що визначають точність збігу вершин ділильних конусів конічних зубчатих коліс

За плямами контакту, що отримуються при перевірці на фарбу конічних передач, можна робити висновок про прийнятний чи недостатній зазор зчеплення, перекіс осей зубчастих коліс та інші похибки складання. При перевірці конічних зубчастих коліс на фарбу пляма контакту повинна розташовуватись при обертанні без навантаження ближче до тонкого кінця зубця не доходячи до його краю по довжині на 1,5–3 мм і по висоті на 0,4–1 мм (рис. 14.35). Норми на контакт зубців конічних коліс трохи нижчі норм на контакт циліндричних коліс (табл. 14.3).

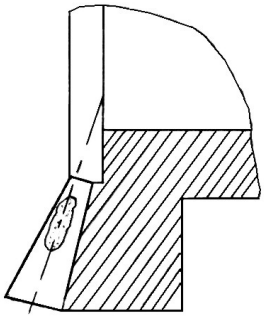


Рис. 14.35. Пляма контакту при перевірці зачеплення конічних колес

Похибки зчеплення спіральних конічних зубчастих коліс у вигляді відбитків фарби, що отримуються на зубцях веденого колеса при його обертанні в різні боки,

наведені на рис. 14.36. Похибки усувають переміщенням одного чи обох зубчастих коліс вздовж їх осей. У знайденому положенні колеса фіксують прокладками чи регульованими гайками.

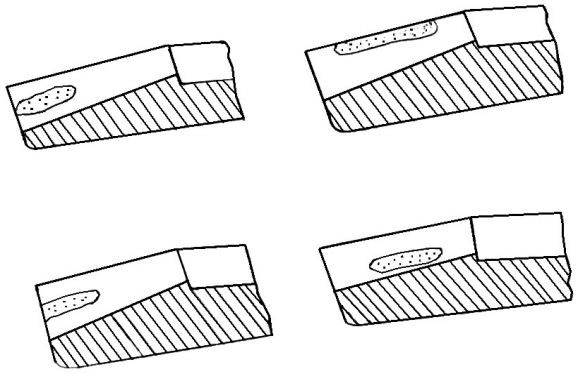


Рис. 14.36. Форми плям контакту конічних колес

Особливості складання черв'ячних передач

При складанні черв'ячних передач основну увагу треба приділити:

1) збіганню середньої площини черв'ячного колеса з віссю черв'яка;

2) правильності міжосьової відстані валів черв'ячного колеса і черв'яка;

3) правильності положення валів (відсутність перекосу);

4) додержанню встановленого бокового зазору в зчепленні та точності прилягання робочих поверхонь зубців.

Установку черв'ячного колеса по відношенню до черв'яка у відкритих передачах перевіряють одним з наступних способів:

1) до ободу черв'ячного колеса (рис. 14.37, *а*) прикладають спеціальний шаблон і щупом вимірюють зазор С , між шаблоном і витками черв'яка;

2) від вала черв'яка (рис. 14.37, *б*) опускають виски і за допомогою внутрішньоміра вимірюють відстань С, яка з обох сторін черв'яка повинна бути однаковою;

3) при горизонтальному положенні черв'ячного колеса по відношенню до черв'яка (рис. 14.38) установку колеса перевіряють за допомогою точної лінійки, спеціально виготовленої призми і рівня.

Регулювання положення черв'ячного колеса виконується за рахунок прокладок, величина розміру яких (товщина) визначається розрахунком розмірного ланцюга (рис. 14.39).

Відхилення міжосьової відстані перевіряють мікрометром чи штихмасом із застосуванням контрольних оправок, які встановлюються у отвори безпосередньо чи через перехідні втулки.

Перекіс осей черв'яка (лінія АБ) і черв'ячного колеса перевіряють індикатором 1 (рис. 14.40), який закріплено на держаку 2, встановленому на валу 3 черв'ячного колеса. Встановлюючи держак разом з індикатором в праве і ліве положення, фіксують покази індикатора. За різницею показів індикатора роблять висновок про наявність перекосу на довжині L. Граничні перекоси осей черв'ячної передачі повинні бути не більше 0,15 мм на 1000 мм довжини вала черв'яка.

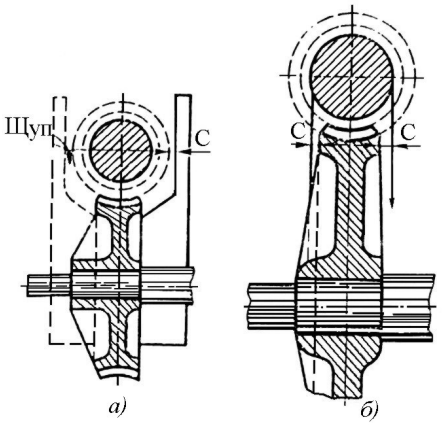


Рис. 14.37. Перевірка встановлення черв'ячного колеса:
а – спеціальним шаблоном; б – виском

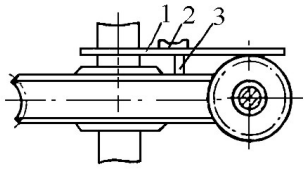


Рис 14.38. Перевірка встановлення черв'ячного колеса:
1 – лінійкою; 2 – рівнем; 3 – призмою

Точність виготовлення черв'ячної передачі задається ступенем точності передачі і видом з'єднання за нормами бокового зазору.

Величина бокового зазору характеризується наявністю "мертвого ходу" в черв'ячній передачі. Зазор вимірюють щупом з робочого боку зубів при відтиснутому черв'ячному колесі в 4-х діаметрально протилежних місцях, повертаючи колесо на 90°, 180° і 270° від його початкового положення. Величину бокового зазору можна заміряти і індикатором.

Двигунок індикатора встановлюють перпендикулярно боковій поверхні одного із зубів і повертають черв'ячне колесо в той чи інший бік на величину бокового зазору. Збільшити боковий зазор можна підшабрюванням неробочої поверхні зубів колеса.

Коли виміряти боковий зазор важко, то контролюють кут оберту черв'яка при закріпленому колесі:

$$Cn = \varphi \frac{mz_1}{412},$$

де Cn – боковий зазор у зчепленні, мкм;

m – осьовий модуль, мм;

φ – кут оберту черв'яка;

Z_1 – число заходів черв'яка.

Прилягання робочої поверхні зубів колеса до ниток черв'яка перевіряють на фарбу: на робочу поверхню витка черв'яка наносять тонкий шар фарби, потім

обертають черв’як, притискаючи черв’ячне колесо робочою поверхнею зубів до черв’яка. Прилягання зубів колеса до витків черв’яка повинно бути рівномірним з розташуванням плям контакту на 60–70 % по довжині та висоті (рис. 14.41).

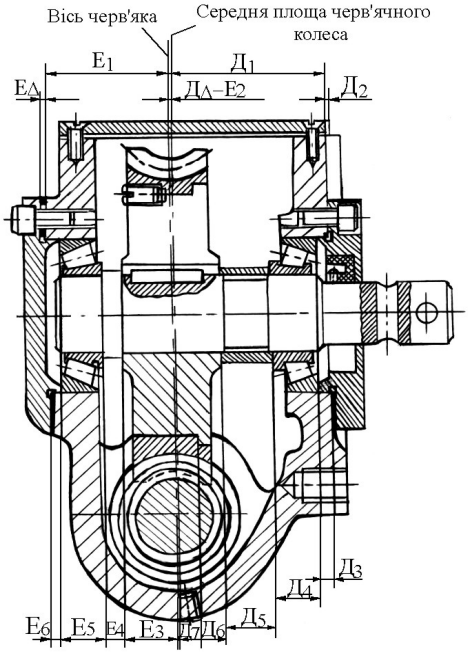


Рис. 14.39. Розмірні ланцюги, що визначають збіг середньої площини черв’ячного колеса з віссю черв’яка

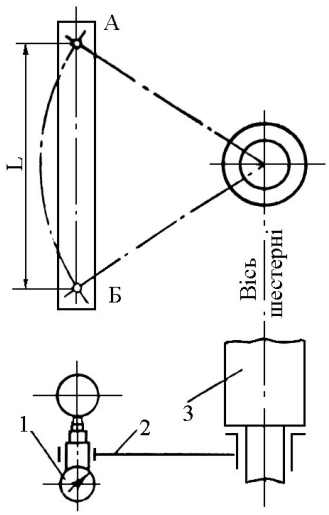


Рис. 14.40. Схема перевірки перекосу осей

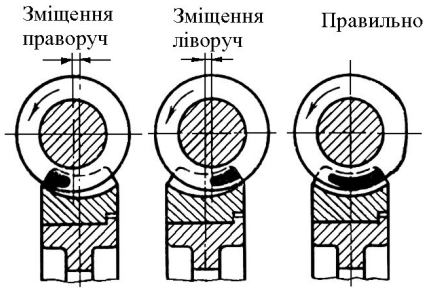


Рис. 14.41. Прилягання зубців до витків черв'яка

Остаточно складену і відрегульовану черв'ячну передачу необхідно перевірити на легкість обертання. Заїдання та важкий хід при прокручуванні передачі вказує на неточність складання чи похибку у виготовленні, які потрібно усунути, оскільки робота такої передачі призводить до зниження коефіцієнта корисної дії та швидкого зношування.

Складені черв'ячні передачі повинні задовольняти таким основним технічним вимогам:

1) точна відповідність положення черв'яка і черв'ячного колеса складальному кресленню машини;

2) рівномірність прокручування черв'ячної передачі без місцевих заїдань;

3) відсутність завищених величин бокових і радіальних зазорів у порівнянні з допустимими межами;

4) відсутність течі мастила в корпусі і корпусі закритих черв'ячних передач;

5) максимально допустима стала температура підшипників при роботі під навантаженням 65–80 °С.

14.3.4. Складання ремінних передач

При монтажу ремінних передач необхідно забезпечити паралельність валів ведучого і відомого шківів і збігання середніх площин обох шківів.

Встановлення, перевірку і виправлення взаємного положення підшипників і валів ремінних передач виконують способами, розглянутими при монтажі валів і підшипників.

Шківи, що встановлюються, повинні мати чисто оброблену поверхню обода, без задирів і забоїн. Шківи швидкісних передач необхідно точно відбалансувати на спеціальних балансувальних верстатах чи пристроях.

Робочі шківи необхідно насаджувати на вал по посадці з натягом (H7/к6; H7/js6). Холості шківи необхідно встановлювати на вали по посадках з зазором (n9/e8; n8/e9). Найбільш широко використовують такі способи кріплення шківів на валу: на клиновій, призматичній шпонці чи на конусній шийці призматичної шпонки.

На циліндричні вали шківи напресовують спеціальними пристроями. При цьому особливу увагу необхідно звернути на правильність розташування шпонкових канавок на валу і в маточині і на щільність посадки шпонки. Для точного збігання шпонкових канавок вала і маточини при напресовуванні застосовують удавану спрямовуючу шпонку, яку потім виймають і замінюють справжньою. Забивають

шпонку ударами мідного молотка з боку торця вала. Кінець шпонки повинен обов'язково знаходитись врівень із маточиною.

При однаковій ширині ободів шківів бокові поверхні парних шківів повинні бути в одній площині. Цю перевірку здійснюють лінійкою, а при великих відстанях натягують шнур.

При складанні шківи необхідно перевіряти на торцеве і радіальне биття. Допуски на биття ободів шківів наведені в табл. 14.4.

Таблиця 14.4

Допуски на биття ободів шківів, мм

Характер биття	Діаметр шківа в мм			
	До 150	150–300	300–600	понад 600
Торцеве	0,10	0,15	0,25	0,40
Радіальне	0,05	0,08	0,12	0,25

З'єднання кінців ременів виконують одним з наступних способів: склеюванням, вулканізацією, жорсткими і шарнірними металевими з'єднаннями і зшиванням.

Кращим способом з'єднання ременів вважається склеювання. Для шкіряних ременів застосовують косе склеювання, для прогумованих – ступінчасте склеювання нарізаних відповідним чином шарів – прокладок.

З'єднання прогумованих ременів вулканізацією здійснюється в спеціальних пристроях і пресах.

На рис. 14.42 показаний пристрій з паровим підігріванням плит, що складається з двох чавунних плит 2, в яких є змійовики 4 з труб ∅50 мм. Нижню плиту встановлюють нерухомо на рамі 1, верхню підвішують на тягах 5. При вулканізації ремінь 8 затискають між плитами металевими балками 7 за допомогою відкидних болтів 3. У верхній плиті є карман 6 для термометра. В змійовик подають пару, яка підтримує температуру плити в межах 130–140 °С.

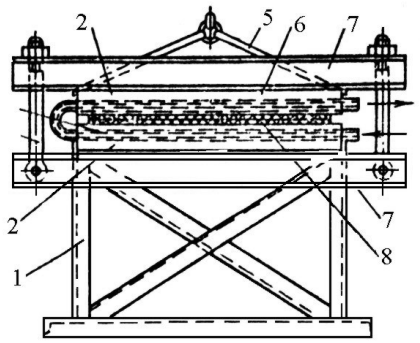


Рис. 14.42. Пристосування для вулканізації ременів паром

Процес вулканізації в залежності від розмірів ременя триває 1–1,5 год.

На рис. 14.43 показаний пристрій з електричним підігріванням. Його будова аналогічна паровому.

Для запобігання кінців ременя від розшарування, а також для зміцнення місця стику при з'єднанні ременів зшивкою ремені прошивають жильною струною ∅1,5–2,

0 мм по всій довжині стика “в ялинку”.

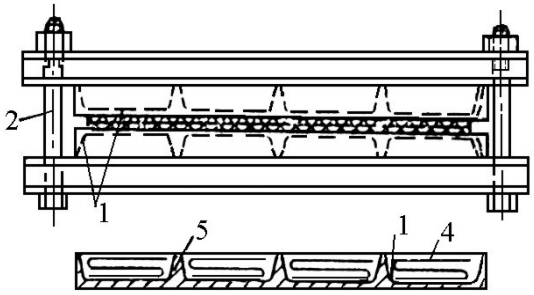


Рис. 14.43. Пристосування для вулканізації ременів електричним підігрівом

Натягнення ременів і транспортної стрічки після складання здійснюється пристроєм (рис. 14.44), який можна встановлювати під будь-яким кутом до осі стрічки, що дозволяє провести правильне її натягнення.

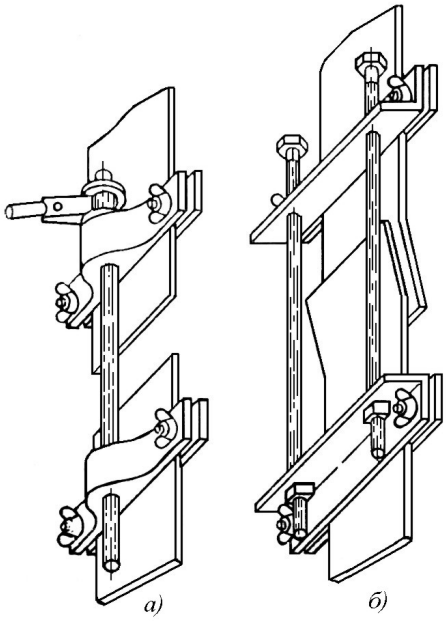


Рис. 14.44. Пристосування для натягування ременів і транспортної стрічки: а – черв’ячним гвинтом; б – натяжними болтами

Змонтовані ремінні передачі задовольняють технічні умови, якщо:

1) ремінь під час руху розташований точно посередині шківа, збігання ременя до однієї кромки обода і звисання його не допускається;

2) натягнення ременя не дуже сильне;

3) стик ременя не чинить різкої ударної дії при набіганні на шків;

4) зовнішня сторона клинового ременя не виступає з канавки шківа, а внутрішня не торкається дна канавки.

14.3.5. Складання ланцюгових передач

Складання ланцюгових передач полягає у встановленні та закріплені зірок на валах, монтажі та регулюванні ланцюга.

Встановлення та закріплення зірок на валах виконується з додержанням тих же правил і прийомів, які застосовуються при складанні ремінних передач.

Після закріплення зірок на валах їх перевіряють на радіальне і торцеве биття. Середні величини допустимих радіального і торцевого биття зірок втулково-роликових ланцюгів в залежності від їх розмірів наведені в табл. 14.5

Биття зірок заміряють звичайними методами. Непаралельність валів і зміщення зірок визначають за тими ж схемами, що і при монтажу ремінних передач. Зміщення зірок усувають регулюванням і встановленням компенсуючих елементів.

Таблиця 14.5

Допустиме биття зірок

Діаметр зірки	До 100	100–200	200–300	300–400	> 400
Биття зірки: радіальне	0,25	0,50	0,75	1,0	1,2
торцеве	0,30	0,50	0,80	1,0	1,5

При роботі ланцюг не повинен провисати. Найбільша величина провисання визначається умовами роботи ланцюгової передачі.

Стріла провисання f у горизонтальних і похилих (до 45º) ланцюгових передач – до 0,02L, а для передач з нахилом > 45° і вертикальних – (0,002…0,003)L (рис. 14.45). Ланцюг з нормальним провисанням правильно укладається на зубцях зірок, внаслідок чого зменшується зношування деталей.

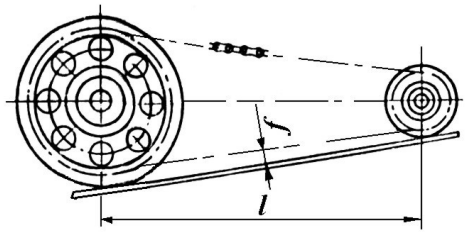


Рис. 14.45. Перевірка стріли провисання ланцюга

Ланцюги з'єднують за допомогою перехідних ланок на верстаку чи безпосередньо на вузлі машини, коли ланцюг покладений на зірки. В цьому випадку кінці ланцюга доводиться натягувати за допомогою спеціальних стяжних пристроїв. Ролико-втулкові ланцюги натягують за допомогою пристрою (рис. 14.46, *а*), що складається із стяжної шпильки 1, яка має праву і ліву різі, двох гайок 2 з приварених до них скобами 4. При складанні ланцюга 3 скоби 4 надягають на кінцеві ролики ланцюга, і обертаючи ключем шпильку 1, натягують ланцюг до необхідної межі.

На рис. 14.46, *б* показаний пристрій для натягнення пластинчастих зубчастих

ланцюгів.

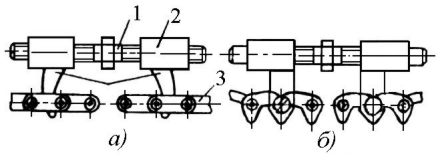


Рис. 14.46. Пристосування для натягування ланцюгів

Ланцюги перед встановленням на зірки необхідно промивати в гасі і змащувати машинним мастилом.

Складені ланцюгові передачі задовольняють технічні умови, якщо:

1) крок ланцюга точно відповідає кроку ланок зірки і при прокручуванні передачі ланцюг плавно, без ударів і ривків, набігає за зубці зірок і плавно виходить із зчеплення з ними;

2) змонтований ланцюг має нормальну величину провисання і при русі не торкається близько розташованих деталей машини чи кожуха; відстань від ланцюга до них повинна бути не менше 20 мм на протягом дуги огинання зірок і не менше 50 мм на прямих ділянках рухомих гілок;

3) ланцюги передачі працюють плавно, з рівномірним шумом, без ударів і коливань гілок.

14.3.6. Складання муфт

Способи складання муфт залежать від їх конструкцій. На підприємствах часто застосовують такі муфти: жорсткі, які поділяють на втулкові, поздовжньо-скручувані та поперечно-скручувані – дискові; пальцьові; з'єднувальні, які поділяються на кулачкові та фрикційні.

При монтажу всіх наведених муфт необхідно провести центрування валів і перевірити правильність співвісності з'єднувальних валів. Перед встановленням муфти необхідно перевірити на правильність їх виготовлення і точність розмірів.

Збігання осьових ліній чи паралельне зміщення осей валів, на які насаджені напівмуфти, перевіряють за допомогою лінійки чи косинців (рис. 14.47) і щупів, накладаючи косинець на зовнішню поверхню обода напівмуфт. Радіальні зазори між площиною косинця і поверхнею обода напівмуфт перевіряють щупом, обертаючи муфти разом з валом на 90º.

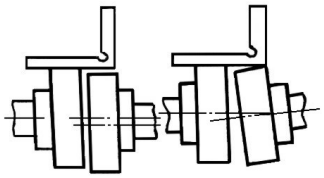


Рис. 14.47. Виверка муфт

Аксіальний зазор і наявність кута між осьовими лініями валів перевіряють щупом між торцями напівмуфт в чотирьох протилежних точках.

Різниця в радіальних зазорах свідчить про те, що вали паралельні, але зсунуті, різниця в аксіальних зазорах свідчить про те, що осі валів непаралельні під кутом.

Торцеве биття напівмуфт перевіряють індикатором, воно не повинно перевищувати 0,02–0,03 мм.

Всі вимірювання в процесі центрування необхідно виконувати при повністю затягнутих фундаментних болтах, підшипників валів та привода.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Перелічіть основні припасувальні роботи, що виконуються при складанні, та розкрийте технологічні методи їх виконання.
2. Перелічіть основні дороблювальні операції при складанні та розкрийте технологічні методи їх виконання.
3. Охарактеризуйте способи миття та очищення деталей і складальних одиниць.
4. Дайте класифікацію з'єднань деталей.
5. Які основні технологічні методи застосовуються при складанні різьових з'єднань?
6. Дайте класифікацію шпонкових з'єднань та відмітьте особливості їх складання.
7. В чому полягають особливості складання шліцьових з'єднань?
8. В чому полягають особливості складання конічних з'єднань?
9. В чому полягають особливості складання штифтових з'єднань?
10. Дайте характеристику з'єднань з гарантованим натягом та розкрийте технологічні методи їх виконання.
11. Охарактеризуйте технологічні методи складання із застосуванням пластичної деформації.
12. Охарактеризуйте технологічні методи з'єднання деталей методом клепання.
13. Охарактеризуйте технологічні методи з'єднання деталей зварюванням.
14. Охарактеризуйте технологічні методи з'єднання деталей паянням.
15. Охарактеризуйте технологічні методи з'єднання деталей склеюванням.
16. Назвіть основні показники якості монтажу вала.
17. Охарактеризуйте технологічні методи установки втулок (опор ковзання) в корпус.
18. Як усувається перекіс втулок (опор ковзання) при запресовуванні їх у корпус?
19. Охарактеризуйте технологічні методи монтажу вала в корпусі на вкладишах (товстостінних) в умовах серійного виробництва.
20. Охарактеризуйте технологічні методи монтажу вала в корпусі на вкладишах (тонкостінних) в умовах великосерійного та масового виробництва.
21. Як забезпечується легкість обертання вала при його монтажу на підшипниках ковзання?
22. Як забезпечуються та контролюються радіальні та осьові зазори при монтажу вала на підшипниках ковзання?
23. Які технічні вимоги висуваються до корпусів і валів, що з'єднуються з підшипниками кочення.
24. Охарактеризуйте технологічні методи підготовки підшипників кочення до монтажу.
25. В залежності від яких факторів вибираються посадки підшипників кочення в

корпус та на вал?

26. За рахунок чого забезпечується легкість обертання вала при монтажу його на підшипниках кочення?

27. Від яких факторів залежить зміна зазору між біговою доріжкою і тілом кочення при напресуванні підшипника кочення на вал з великим натягом, і як забезпечити при цьому оптимальний зазор?

28. Як впливає на монтаж підшипників кочення його нагрівання чи охолодження? До яких температур можна підігрівати підшипник?

29. Охарактеризуйте технологічні методи зменшення радіального биття вала при його монтажу на підшипниках кочення.

30. Охарактеризуйте технологічні методи забезпечення паралельності осі вала (що монтується на підшипниках кочення) основним базам корпуса.

31. Охарактеризуйте технологічні особливості монтажу вала на конічних роликових підшипниках.

32. Сформулюйте основні технічні вимоги до зубчастих передач.

33. Які групи операцій виконують при складанні зубчастих і черв'ячних передач?

34. Якими технологічними методами здійснюється складання зубчастих коліс з валами? Які при цьому можуть виникнути дефекти та способи їх зменшення та усунення.

35. Які основні дефекти можуть виявитись при встановленні валів із зубчастими колесами в корпус?

36. Як забезпечується боковий зазор зубчастого зчеплення при монтажу в корпус в умовах серійного та масового виробництв?

37. Як забезпечуються і перевіряються радіальне та осьове биття зубчастих коліс при монтажу в умовах серійного та масового виробництв?

38. Як забезпечується та перевіряється паралельність осей валів із зубчастими колесами при монтажу в корпус?

39. Охарактеризуйте технологічні особливості монтажу конічних передач.

40. Охарактеризуйте технологічні особливості монтажу черв'ячних передач.

41. Охарактеризуйте технологічні особливості монтажу ремінних передач.

42. Охарактеризуйте технологічні особливості монтажу ланцюгових передач.

43. Охарактеризуйте технологічні особливості монтажу муфт.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Воробьёв Л.Н. Технология машиностроения и ремонта машин. – М: Высшая школа, 1981. – 334 с.

2. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – М. М., 1969. – 651 с.

3. Основы технологии машиностроения / Под ред. В.С. Корсакова – М.М., 1977. – 416 с.

4. Проектирование технологи / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.М., 1990 – 416 с.

5. Руденко П.А. Раздел 3. Технология изготовления машин: Конспект лекцій. – Чернишов, 1986. – 159 с.

6. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. Т. 2. – М. М., 1986. – 496 с.

7. Технология машиностроения (специальная часть) / Гусев А.А., Ковальчук Е.О., Колосов И.М. и др. – М.М., 1986. – 480 с.

Тема 15. Технологія виготовлення станин і рам

15.1. Технологічні відомості про станини

15.1.1. Службове призначення станин і рам

Станини енергетичних та інших машин і агрегатів призначені для забезпечення потрібних відносних положень і рухів приєднуваних до них складальних одиниць і деталей в умовах допустимих навантажень і зовнішнього середовища протягом заданого терміну експлуатації.

В описі службового призначення станин, основи чи рами повинні бути вказані такі параметри:

– потрібне відносне положення приєднуваних до станини нерухомих складальних одиниць і деталей;

– потрібні відносні рухи рухомих складальних одиниць і деталей, що встановлюються на станину;

– допустимі статичні та динамічні робочі навантаження;

– допустимі теплові дії;

– допустимі зовнішні дії та параметри навколишнього середовища;

– потрібний термін експлуатації до ремонту і загальний термін експлуатації;

– регламент обслуговування станини;

– інші характеристики: енергономічні, естетичні, економічні тощо, габарити, маса.

При описі службового призначення конкретної станини чи рами повинно бути визначено необхідний і достатній якісний склад параметрів за всіма переліченими групами. На кожен параметр повинна бути дана повна кількісна оцінка, яка б включала не тільки номінальне значення, але й допустимі відхилення, а в деяких випадках і імовірнісні характеристики розподілу. Обгрунтування і розрахунок кожного параметра службового призначення станини здійснюється виходячи зі службового призначення і вимог щодо точності машини в цілому.

Визначення потрібних номінальних значень параметрів відносного положення і руху приєднуваних до станини вузлів і деталей, як правило, не викликає труднощів. Складніше встановити допустимі відхилення цих параметрів від номінальних значень, виходячи, наприклад, із необхідної точності обробки заготовок, яка є одним із параметрів службового призначення верстата, наприклад, токарного, і визначає потрібну точність положення заднього центра і точність руху супорта відносно осі обертання шпинделя. В свою чергу, потрібна точність відносного положення осі обертання шпинделя і заднього центра і точність руху супорта відносно осі обертання визначають при вибраних методах досягнення точності допустимі відхилення відносного положення основних баз передньої та задньої бабок і супорта на станині, які входять в параметри службового призначення станини. Так простежується функціональний зв’язок параметрів службового призначення верстата і станини, яка показана на рис. 15.1.

Точність руху характеризується:

1) точністю напрямку, положення та форми траєкторії, наприклад,

прямолінійністю;

2) точністю параметрів руху: швидкості, прискорення тощо;

3) точністю позиціонування.

РОБОЧІ НАВАНТАЖЕННЯ на станину визначаються компонуванням верстата, масою встановлюваних на станину складальних одиниць і деталей, видом робочого процесу, режимами роботи. Робочі навантаження характеризуються силами і моментами сил, що викликають пружну деформацію станини і, як наслідок, зміну у відносних положеннях і рухах складальних одиниць, установлених на станину.

ТЕПЛОВА ДІЯ на станину при роботі верстата призводить до зміни відносних положень і точності рухів встановлених на станину складальних одиниць і деталей, що в результаті знижує точність деталей, що виготовляються на верстаті.

ДОПУСТИМІ ЗОВНІШНІ ДІЇ ТА ПАРАМЕТРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА описуються фізико-хімічними властивостями середовища, у тому числі вологістю, запиленістю, наявністю хімічно активних елементів та їх концентрації, а також температурою навколишнього середовища та її коливанням, тиском, наявністю та характеристиками теплових, магнітних, електричних та інших полів, вібрацією.

ПОТРІБНИЙ ТЕРМІН ЕКСПЛУАТАЦІЇ станини до ремонту визначає необхідну зносостійкість напрямних станин при відомих робочих навантаженнях, зовнішніх діях та інтенсивності режиму роботи.

РЕГЛАМЕНТ ОБСЛУГОВУВАННЯ станини визначає потрібну регулярність очищення та змащування напрямних, перевірок точності, відсутності задирок, корозії та інших пошкоджень.

В результаті аналізу параметрів службового призначення станин можна зробити наступні основні висновки.

1. Всі параметри службового призначення станини витікають із службового призначення верстата і пов’язані з впливом їх на точність відносного положення і руху робочих органів верстата, що встановлюються на станину.

2. Потрібна точність положення і руху приєднуваних до станини складальних одиниць і деталей повинна забезпечуватись станиною із врахуванням допустимих дій при експлуатації протягом заданого періоду часу.

Потрібні параметри службового призначення станини забезпечуються сукупністю певних властивостей станини, до числа яких відносяться:

1) геометрична точність поверхонь основних і допоміжних баз і точність їх відносного положення;

2) статична і динамічна жорсткість станини;

3) зносостійкість напрямних;

4) теплова стабільність;

5) відсутність жолоблення;

6) малий і стабільний коефіцієнт тертя по напрямних.

Точність відносного положення комплектів допоміжних баз станини, що створюють, наприклад, координатні системи $X_{B1}Y_{B1}Z_{B1}$ і $X_{B2}Y_{B2}Z_{B2}$ (рис. 15.1) безпосередньо визначає точність відносного положення складальних одиниць і деталей (у даному випадку передньої та задньої бабок з координатними системами $X_1Y_1Z_1$ і $X_2Y_2Z_2$ відповідно), що встановлюються на станину. Точність відносного положення баз кожного комплекту і точність базових поверхонь визначають точність встановлення приєднуваних до станини деталей і складальних одиниць, а також жорсткість нерухомого з’єднання. При рухомому з’єднанні точність базових

поверхонь, тобто напрямних, визначає точність траєкторії переміщення з'єднаних з напрямними складальних одиниць, наприклад, прямолінійність руху супорта, а шорсткість поверхні визначає коефіцієнт тертя, інтенсивність зношування та строк служби при заданій точності обробки на верстаті.

Досягнута в процесі виготовлення станини вихідна геометрична точність зазнає змін в процесі експлуатації станини під дією зовнішніх сил і моментів, напружень в результаті пружних деформацій, старіння, теплових деформацій станини і зношування напрямних.

Для забезпечення високої зносостійкості чавунних напрямних за рекомендаціями ЭНИМС повинна бути забезпечена твердість поверхні не менше НВ 180…200, поле розсіювання твердості однієї напрямної – не більше НВ 20.

Теплова стабільність досягається в основному вибором термосиметричної конструкції, в якій при зміні температури не відбувається суттєвих змін, головним чином, у відносних поворотах координатних систем $X_{B1}Y_{B1}Z_{B1}$ і $X_{B2}Y_{B2}Z_{B2}$ (рис. 15.1) допоміжних баз станини.

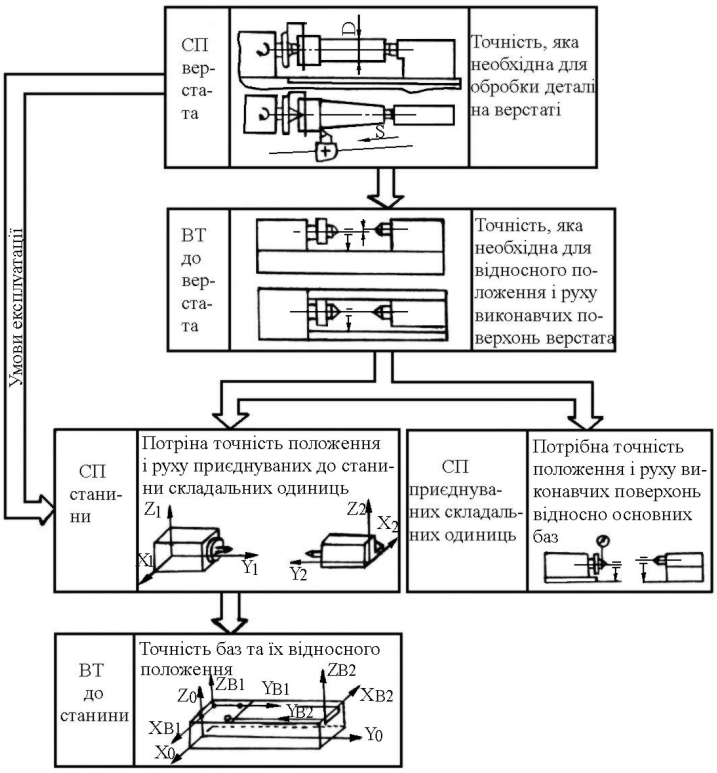


Рис. 15.1. Зв'язок параметрів службового призначення (СП) і вимог точності (ВТ) до станини з параметрами службового призначення і вимогами точності до токарного верстата

Розглянуті найважливіші експлуатаційні властивості станини дозволяють зробити такі висновки:

1. Допустимі зміни показників експлуатаційних властивостей станини розраховують, виходячи із заданих параметрів службового призначення станини із врахуванням можливості та економічності їх досягнення.

2. Всі експлуатаційні властивості станини описують в кінцевому рахунку спроможність станини зберегти потрібну геометричну точність поверхонь основних і допоміжних баз станини, точність їх відносного положення, а також точність руху по напрямних протягом заданого періоду експлуатації в умовах допустимих дій, визначених службовим призначенням станини.

3. Забезпечення всіх потрібних експлуатаційних властивостей станини досягається в кінцевому результаті вибором матеріалів для виготовлення станини, що має відповідні властивості, і розрахунком відповідних розмірів конструкції станини.

15.1.2. Конструкції станин

Конструктивні форми і розміри станини визначаються компонуванням і конструкцією машини або верстата, службовим призначенням станини, а також вибраним матеріалом і методом виготовлення станини, які визначають конструктивну відмінність у зв'язку з особливостями розрахунку і вимогами до технологічності конструкції. У відповідності з цим станини можна класифікувати за різними ознаками.

З розташуванням станини можуть бути горизонтальними, вертикальними і похилими. Станини можуть бути суцільними і складеними.

У відповідності зі службовим призначенням всі станини верстатів та інших машин можна поділити на дві групи:

1. Станини без напрямних, в службове призначення яких входить тільки забезпечення потрібного відносного положення приєднуваних до них складальних одиниць і деталей.

2. Станини з напрямними, в службове призначення яких входить, крім забезпечення потрібного положення, забезпечення потрібних рухів вузлів (кареток, супортів, столів), що встановлюються на напрямних.

Станини другої групи відрізняються числом систем напрямних, їх формою, конструкцією, відносним розташуванням у просторі. За траєкторією руху, що забезпечується, напрямні поділяються на прямолінійні та кругові, за видом тертя – на напрямні ковзання, кочення та комбіновані, за формою – на плоскі, призматичні, циліндричні. Напрямні можуть бути відлиті разом зі станиною, а можуть бути накладними у вигляді планок чи пластин, які прикріплюють до станини гвинтами або за допомогою клею. Кожен з перелічених видів напрямних має свої характерні конструктивні відмінності та раціональні області застосування.

В результаті конструювання станини необхідно вибрати компонування станини і зв'язати конструктивні розміри і властивості застосовуваних матеріалів так, щоб станина виконувала своє службове призначення з потрібною надійністю при мінімальних затратах на виготовлення та експлуатацію верстата в цілому. Одним з критеріїв оптимізації конструкції станини є мінімальна металомісткість станини.

15.1.3. Технічні вимоги до станин

Технічні вимоги до станин повинні регламентувати допустимі відхилення розмірних параметрів і характеристики властивостей матеріалів, додержання яких в результаті виготовлення станини забезпечить виконання станиною службового призначення при мінімальних затратах.

Вимоги до властивостей матеріалу станини включають вимоги до марки матеріалу, його хімічного складу і фізико-механічних властивостей, до однорідності та густини матеріалу особливо в найбільш відповідальних місцях. Висуваються вимоги до мікроструктури і твердості поверхневого шару напрямних.

Основні вимоги з геометричної точності висуваються до поверхонь допоміжних баз станини. Відносно висока точність виготовлення комплекту основних баз станини і точність положення допоміжних баз відносно основних необхідна:

– за службовим призначенням, якщо станина встановлюється на інші деталі несучої системи верстата, наприклад, на основу або тумби, або є частиною складеної станини;

– за технологічними міркуваннями, коли основні бази станини використовують технологічні бази для неодноразового встановлення заготовки станини при обробці.

У загальному випадку вимоги точності включають:

– точність поверхонь баз;

– точність відносного положення баз в кожному комплекті;

– точність відносного положення комплектів баз (рис. 15.2).

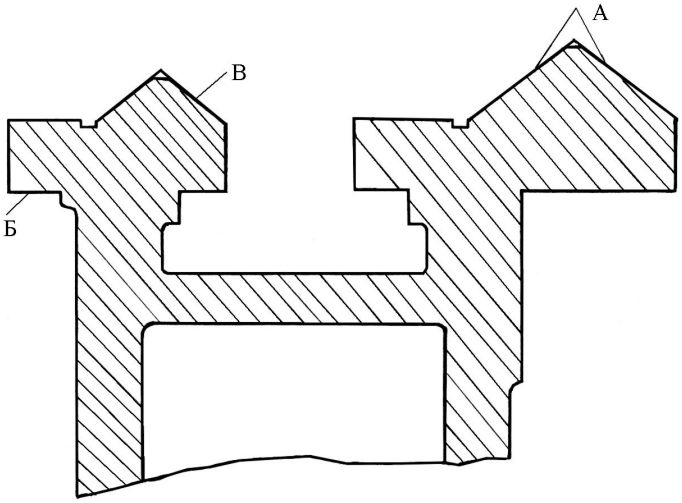


Рис. 15.2. Профіль, в якому необхідна паралельність площини Б і призми В до призми А

Як приклад наведемо технічні вимоги до станини верстата, показаного на рис 15.3: (з регламенту Оргстанкінпрому):

– матеріал – чавун СЧ 30 (ГОСТ 1412);

– допуск площинності поверхонь А і Б – 0,003 мм;

– допуск прямолінійності поверхні Г у вертикальній площині – 0,012/1000 м (допускається тільки опуклість);

– вивернутість напрямних поверхонь $В_1$, $В_2$, $В_3$, $В_4$ – не більше 0,025 мм по всій довжині напрямних;

– допуск паралельності поверхонь Д і Є напрямним поверхням $В_1$ і $В_4$ – 0,015 мм на довжині 1000 мм;

– допуск перпендикулярності поверхні Ж до загальної прилеглої поверхні $В_1$–$В_3$ – 0,03 мм на довжині 250 мм.

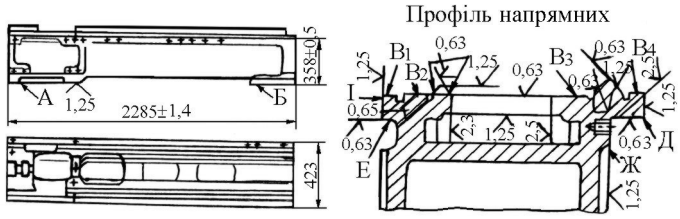


Рис. 15.3. Лита станина прецизійного верстата

15.1.4. Матеріал і заготовки

Станини будь-якого призначення можуть бути сконструйовані як виливаними або зварені. Таким чином, вже в процесі конструювання вирішується питання про вид заготовки. Підставою для вибору одного з двох видів заготовки є конструктивні та економічні розрахунки.

При конструктивних розрахунках враховують вагу, міцність та зносостійкість станин. Вага зварених конструкцій у 2–3 рази менша ваги виливаних чавунних при однаковому призначенні. Це пояснюється тим, що механічні властивості (особливо межа міцності при розтягуванні) листової сталі, що застосовується у зварених конструкціях, приблизно в 2,5 рази більші, ніж у чавунних і за умовами технології виробництва великих чавунних виливок товщина стінок і ребер у виливаних деталей у 2–2,5 рази більша, ніж у зварених. Зносостійкість враховується для станин з напрямними. Вона значно більша у чавуну, ніж у сталі, яка має схильність до створення задирок на поверхнях ковзання. Застосування ж накладних напрямних з інших матеріалів дуже ускладнює конструкцію зварених станин.

При економічних розрахунках, які полягають у порівнянні собівартості станин, сконструйованих по обох варіантах, не можна користуватись укрупненими показниками, наприклад, собівартістю тони ваги машин, узагальненим відсотком накладних витрат, оскільки це може привести до грубої помилки. Калькуляцію собівартості необхідно виконувати диференційовано.

Виливані станини роблять з алюмінію, сталі та чавуну. Алюмінієві станини в машинобудуванні застосовуються рідко, виключно для машин, що транспортуються, де їх застосування обгрунтоване малою вагою. Сталеві виливані станини застосовують лише у виключних випадках, коли вони піддаються надзвичайно великим навантаженням, особливо ударним, наприклад, в деяких типах горизонтально-кувальних машин.

Основне застосування у машинобудуванні мають чавунні виливані станини. Для більшості типів станин без напрямних цілком задовольняє чавун середнього класу

СЧ 15-32. Для станин, що піддаються великим навантаженням, де необхідна підвищена міцність, економічно доцільне використання модифікованих чавунів від СЧ 21-40 до СЧ 32-52. Для станин з напрямними для підвищення їх зносостійкості доцільне застосування тільки модифікованих чавунів вказаних вище марок, а в деяких випадках – високоміцних чавунів, наприклад, ВЧ 50-1,5.

Виливки станин відносяться до категорії середніх і великих, а виробництво – до типу дрібносерійного чи серійного і, як виняток, великосерійного. У більшості випадків виливки станин отримують ручним формуванням по дерев'яних моделях в парних опоках, а виливки особливо великих розмірів – методами формування в землю. В міру зростання серійності виробництва стають економічними металеві моделі.

Заливання, як правило, необхідно виконувати в сухі чи підсушені форми. Сирі форми допустимі лише для невідповідальних станин невеликих розмірів. При заливанні найбільш раціонально розташовувати станину основою вверх. В цьому випадку розташовані внизу форми привалочні площини або напрямні будуть мати більш щільну структуру і менше ливарних вад.

У виливках станин, як правило, є значні залишкові напруження. У зв'язку з цим для відповідальних станин передбачається старіння виливок: природне протягом якомога більшого терміну або штучне.

Штучне старіння виконують нагріванням в печах при певному тепловому режимі, який залежить від хімічного складу чавуну і ваги виливки. Наприклад, для станин з чавуну СЧ 21–40 вагою від 2 до 4 т застосовують такий тепловий режим: температура в печі при завантаженні – 200–300 ºС; швидкість нагрівання – 80–100 ºС за годину до температури 550 ºС; витримка при цій температурі – протягом 4–5 годин; остигання з піччю – протягом 6–8 годин до температури 150 ºС; розвантаження – з печі.

Для зварених станин у більшості випадків застосовують листову сталь Ст. 3, а для станин, що піддаються великим навантаженням, – сталь Ст. 5. Найчастіше використовують листи товщиною від 10 до 15 мм і тільки для окремих потовщених деталей – до 25 мм. У деяких зварених станинах важких машин, наприклад, для гідравлічних пресів великої потужності, застосовують листову сталь товщиною до 50 мм.

У зварених станинах завжди виникають значні залишкові напруження, під дією яких вже після закінчення зварювання станина виявляється деформованою (особливо часто відбувається скручування вздовж поздовжньої осі) до 3–5 мм на 1 погонний метр. При наступній механічній обробці деформації під дією залишкових напружень можуть ще зростати. Тому для відповідальних станин передбачають термічну обробку в печах для зняття залишкових напружень.

15.1.5. Технологічні бази

Технологічний маршрут обробки станин найрізноманітніших типів і розмірів починається з обробки основи, оскільки при подальших операціях вона служить технологічною базою. Тому на першій операції за базу вибирають поверхню напрямних, і всі похибки виливки чи звареної конструкції за висотою усуваються на першій операції.

На всіх наступних операціях за базу застосовують оброблену основу. Цим

забезпечується рівномірність припуску на поверхні напрямних, і отже, ідентичність якості поверхні напрямних.

Тільки при обробці торцевих поверхонь за базу використовують напрямні поверхні.

15.1.6. Типові технологічні маршрути

Всі маршрути обробки найрізноманітніших конструкцій можуть бути зведені до шести варіантів. Найпростіший з них (маршрут № 1) розрахований на одиничне і дрібносерійне виробництво для станин з не високими технічними вимогами, найскладніший (маршрут № 6) – на серійне виробництво (з використанням пристроїв) для особливо точних, прецезійних верстатів. Решта маршрутів займає проміжне положення між маршрутами № 1 та № 6.

Маршрут № 1

1. Розмітка заготовки.
2. Чорнова і чистова обробка основи і площин на передній стінці.
3. Чорнова і чистова обробка верхніх площин (напрямних) і площин на задній стінці.
4. Чорнова і чистова обробка торців.
5. Друга розмітка.
6. Чорнова і чистова обробка головних отворів.
7. Третя розмітка.
8. Обробка кріпильних отворів (зверху, знизу, спереду, ззаду, на торцях).
9. Фінішна обробка напрямних і головних отворів.

Маршрут № 6

1. Чорнова обробка основи і площин на передній стінці.
2. Чорнова обробка верхніх площин (напрямних) і площин на задній стінці.
3. Чорнова обробка торців.
4. Чорнова обробка головних отворів.
5. Старіння.
6. Чистова обробка основи і площин на передній стінці.
7. Чистова обробка верхніх площин (напрямних) і площин на задній стінці.
8. Чистова обробка торців.
9. Чистова обробка головних отворів.
10. Повторне старіння.
11. Повторна чистова обробка основи.
12. Повторна чистова обробка верхніх площин (напрямних).
13. Повторна чистова обробка головних отворів.
14. Обробка кріпильних отворів.
15. Термічна обробка напрямних.
16. Фінішна обробка напрямних.
17. Фінішна обробка головних отворів.

15.2. Методи виконання основних операцій при обробці станин

15.2.1. Розмітка

Розмітка станин в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва є відповідальною операцією. Як максимум, розмітка має 4 цілі:

– контроль заготовки;

– забезпечення правильного встановлення станин на перших операціях механічної обробки;

– визначення положення різальних інструментів на заданий розмір при виконанні перших операцій;

– рівномірний розподіл припуску на обробку із врахуванням форми і розмірів, що має заготовка.

Для розмітки станин застосовують звичайний комплект розмічувальних інструментів: рейсмус, масштабні лінійки, косинці, для вимірювання великих довжин (більше 1000 мм) – стальну рулетку, керни, слюсарні молотки.

Контроль заготовки передбачається як ціль розмітки тільки в тому випадку, якщо заготовка не піддавалась контролю в заготівельному цеху. При розмітці в механічному цеху контроль здійснюють одночасно, в процесі досягнення решти цілей.

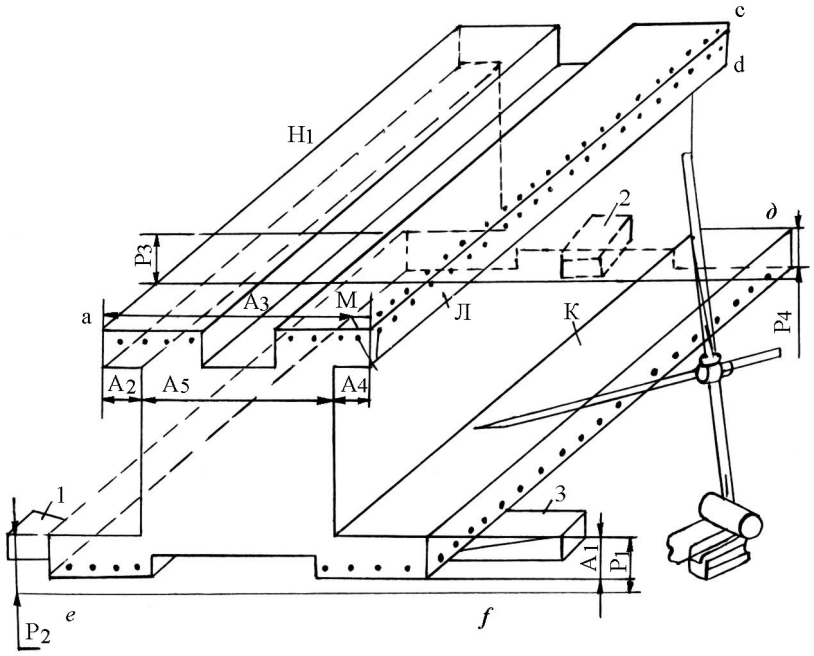


Рис. 15.4. Схема розмітки станини

Для забезпечення правильного встановлення станини на перших операціях, що здійснюється на поздовжньо-стругальних або поздовжньо-фрезерних верстатах,

необхідно і достатньо три розмічувальних штрихи. Штрихами fq і fe (рис. 15.4) верстатник користується на першій операції (обробка основи) для вивірки рейсмусом положення станини по висоті, штрихами bc, ab, і b, d на другій операції для досягнення паралельності оброблюваних площин Л, М і Н напрямку руху стола. Вивіряють рисувалкою, закріпленою на який-небудь частині верстата, наприклад, у супорті поздовжньо-стругального верстата.

Розмічувальні штрихи, що служать для настроювання різальних інструментів, необхідно наносити із врахуванням послідовності обробки так, щоб вони не могли бути зрізаними на подальших переходах.

Найбільш складна розмітка, що має ціллю рівномірний розподіл припуску.

Для зменшення затрат часу на розмітку звичайно наносять штрихи не по всій довжині заготовки, а тільки у вигляді коротких відрізків на початку і в кінці, також виконують і накернування.

На деяких заводах прийнято наносити контрольні штрихи на постійній відстані 10 мм від робочих штрихів, штрихи звичайно не накернюють. Контрольні штрихи дозволяють перевірити, наскільки точно робітник-верстатник виконав обробку по розмітці. Тим самим відповідальність за правильність обробки покладається на розмітника.

15.2.2. Чорнова обробка основи

Обробка основи є першою операцією. Оскільки вибір технологічних баз на цій операції вже розглянутий, зупинимося на двох питаннях: встановленні та закріплені станини і виборі методу обробки.

Встановлення станини по розмітці, коли необхідно регулювати її положення на столі в двох напрямках, виконують за допомогою клинів, “карликових” домкратів (рис. 15.5, *а*) і клинових башмаків (рис. 15.5, *б*), що відіграють роль опор. Як відомо, для регулювання положення станини у вертикальному напрямку необхідно і достатньо трьох основних опор, які повинні бути розташовані так, щоб з’єднуючі їх прямі лінії створювали трикутник найбільшої площі. Ці основні опори найкраще розташувати так: дві – вздовж передньої стінки, одну – на задній. В цьому випадку положення станини можна вивірити двома опорами, не переходячи на другий бік верстата. Крім трьох основних опор, після їх остаточного регулювання можна застосувати додаткові опори тих же конструкцій (для зменшення деформації станини під дією сил різання). Додаткові опори відіграють роль підвідних опор.

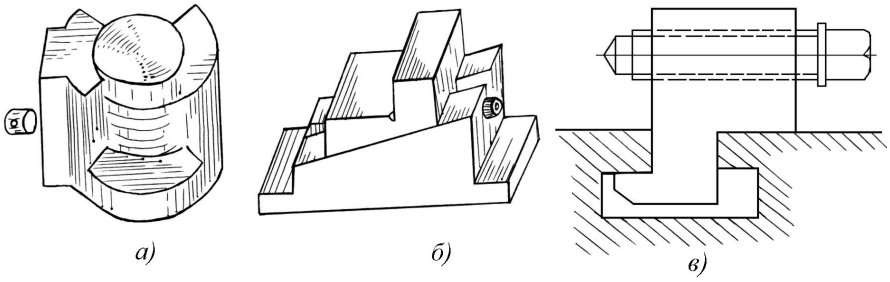


Рис. 15.5. Пристрій для встановлення станин за розміткою на столі верстата

Для вивірення положення у горизонтальному напрямку звичайно застосовують просте пристосування – гвинтовий упор (рис. 15.5, *в*).

Закріплення станини на столі в умовах одиничного виробництва виконують звичайними прихватами. Для правильного закріплення прихвати повинні бути розташовані проти основних і підвідних опор, щоб не викликати деформацію станини силами затискання. Кількість прихватів повинна бути достатньою, щоб гарантувати нерухомість станини під дією сил різання.

В серійному виробництві станину економічніше встановлювати не по розмітці, а за допомогою спеціальних пристроїв, які суміщають в собі функції базування та закріплення.

Вибір методів обробки можна здійснити за допомогою рис. 15.6.

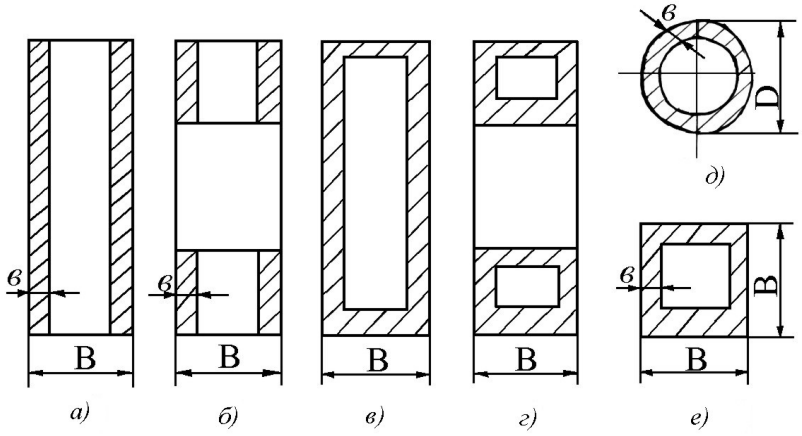


Рис. 15.6. Контури площини основи станини: б, г – обдирне шліфування сегментними шліфувальними кругами на плоскошліфувальних верстатах з прямокутним столом (при припуску до 2–3 мм; "як чисто"); д, є – торцьове обточування на карусельних верстатах; в, г – фрезерування на поздовжньо-фрезерних верстатах (при припуску 2–3 мм); а–б – стругання та фрезерування; а–е – стругання (у важкому верстатобудуванні) на поздовжньо-стругальних верстатах

15.2.3. Чистова обробка основи

Після чорнової обробки верхніх привалочних площин чи напрямних і після старіння виконують чистову обробку основи, яка трохи відрізняється від чорнової, хоча і має те ж значення – підготовку технологічної бази. Розглянемо ці відмінності.

1. У дрібносерійному виробництві, коли пристрій не застосовується, станини звичайно встановлюють не на клини і домкрати, як при чорновій обробці, а безпосередньо на стіл верстата або на плоско-паралельні призми (якщо базові площини у станини знаходяться на різній висоті). Проте внаслідок наявності у начорно обробленої станини залишкових напружень базові площини можуть виявитись деформованими, і прилягання до поверхні стола верстата по всіх точках не досягається. Якщо, не прийнявши ніяких заходів, притиснути станину до стола, то вона буде пружно деформована, і після відкріплення остаточно оброблена основа

виявиться не площинною. Щоб запобігти виникненню цієї похибки, необхідно перевірити щупом прилягання базових площин до стола і в місцях найбільших зазорів підкласти тонкі пластинки листової сталі (бажано, клиноподібні з нахилом приблизно 1:1000).

У випадку застосування установчих пристроїв необхідно використовувати спеціальні конструкції опорних елементів, які вибирають в залежності від форми верхніх площин станини. На рис. 15.7 показані деякі конструкції опорних елементів.

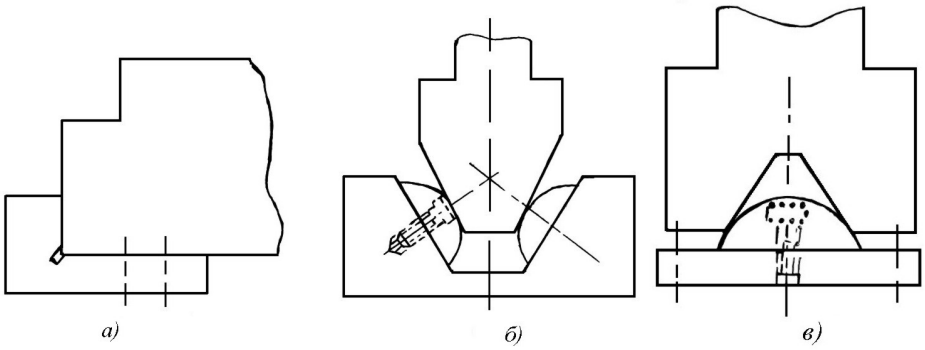


Рис. 15.7. Опорні елементи пристроїв для оброблених напрямних

2. При встановленні важких станин великої довжини необхідно враховувати деформації під дією власної ваги. Наприклад, станина Н – подібного перерізу шириною 800 мм, висотою 500 мм і довжиною 3000 мм при товщині стінок 15–20 мм, будучи встановлена на опори, що розташовані по її кінцях, прогинається від власної ваги приблизно на 0,08 мм. Станина такого ж перерізу, але довжиною 5000 мм, прогинається на 0,6 мм. Для точних станин такі прогини можуть призвести до недопустимих похибок форми.

Тому при виготовленні точних горизонтальних станин великої довжини і вертикальних станин великої висоти приймають такі заходи для усунення деформації від власної ваги у випадках встановлення станини на клинах, домкратах чи у пристроях:

а) розташовують опори не на кінцях станини, а в точках найменшого прогину – приблизно на відстані 0,2 загальної довжини від кінців, це не усуває повністю деформацію, але суттєво зменшує її;

б) застосовують як розвантажувальне пристосування гвинтовий або гідравлічний домкрат, розміщений посередині між опорами.

3. Деякі відмінності операції чистової обробки від чорнової є у способах закріплення станини. На операції чистової обробки безумовно повинна бути усунена можливість деформації станини під дією сил затискання, тому не потрібно покладати на вертикальні затискачі функції сприйняття сил різання. Кріплення необхідно виконувати боковими упорами і затискачами.

4. Вибір методу обробки (стругання, фрезерування, обдирне шліфування та торцеве обточування) для чистової обробки виконується на підставі таких же міркувань і розрахунків, як і для чорнової обробки. Відмінність полягає лише в тому, що є більше підстав вибрати стругання замість фрезерування, оскільки чистове стругання можна виконувати широкими різцями, що допускають великі подачі (до

0,6 ширини різця на один подвійний хід стола).

Крім того, кількість тепла, що виділяється при фрезеруванні, в декілька разів більша ніж при струганні, тому всі температурні деформації в технологічній системі будуть менші при струганні.

15.2.4. Чорнова і чистова обробка верхніх привалочних площин і напрямних

Операція виконується при базуванні по основі та вертикальних привалочних площинах чи технологічних приливах, оброблених разом з основою. Способи встановлення (на опорах чи безпосередньо на столі верстата) були вже розглянуті. Вибір методу обробки верхніх привалочних площин нічим не відрізняється від вибору методу обробки основи.

Суттєва різниця є у виборі методу обробки і способу побудови операції чорнової та чистової обробки напрямних.

Для станин з круговими напрямними єдино можливий метод – обробка на карусельних верстатах. Характерною особливістю обробки на карусельних верстатах у порівнянні з обробкою на стругальних і фрезерних верстатах є фізична неможливість використання розмітки профілю напрямних чи габаритів для настроювання інструментів. Тому робітнику-карусельнику доводиться створювати потрібний профіль напрямних шляхом послідовної, пов'язаної із систематичними вимірюваннями обробки окремих поверхонь.

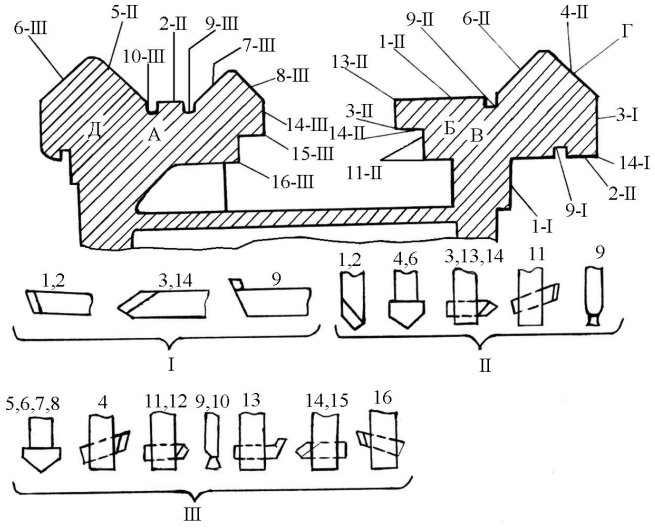


Рис. 15.8. Схема обробки напрямних станини на поздовжньо-стругальному верстаті: I – передній боковий супорт; II – правий верхній супорт; III – верхній лівий супорт

Для станин з прямолінійними напрямними можливі два методи обробки: стругання та фрезерування. Вибір одного з цих методів значно складніший, ніж вибір методу обробки основи, оскільки складніші самі оброблювані поверхні. Для обгрунтованого вибору необхідно порівняти собівартість обробки, а для розрахунку

собівартості треба докладно розробити порівнювальні операції: стругальну і фрезерну.

Стругання. У дрібносерійному виробництві, коли встановлення станини виконують за розмічувальними штрихами, а пристрої не застосовують, весь профіль повинен бути розмічений на торцевій площині станини. Чорнову обробку виконують за цією розміткою, послідовність переходів стругальної операції не має суттєвого значення, її визначають, виходячи з того, щоб було менше змін різців і шляхи холостих переміщень супортів були мінімальними.

Схема обробки напрямних станин на поздовжньо-стругальному верстаті показана на рис. 15.8.

Стругання пов'язане із систематичними вимірюваннями. Часто для цієї цілі використовують набори шаблонів.

При зростанні серійності виробництва може виявитись доцільним застосування для настроювання різців стругальні габарити.

Фрезерування напрямних можна виконати трьома способами:

1. Фрезерування стандартними фрезами за одне або декілька встановлень оброблюваної станини (рис. 15.9).

2. Фрезерування спеціальними наборами фрез (рис. 15.10)

3. Фрезерування на спеціальних багатошпиндельних позовжньо-фрезерних верстатах (рис. 15.11).

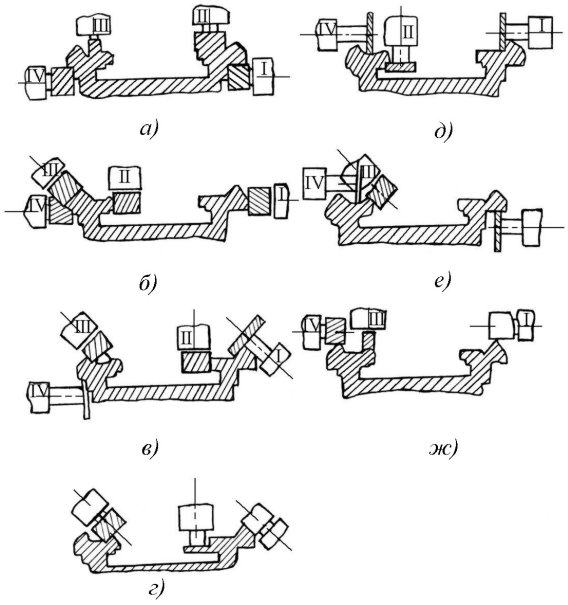


Рис. 15.9. Схема фрезерування напрямних станини зі зміною інструменту: а–ж – переходи; I – IV шпинделі

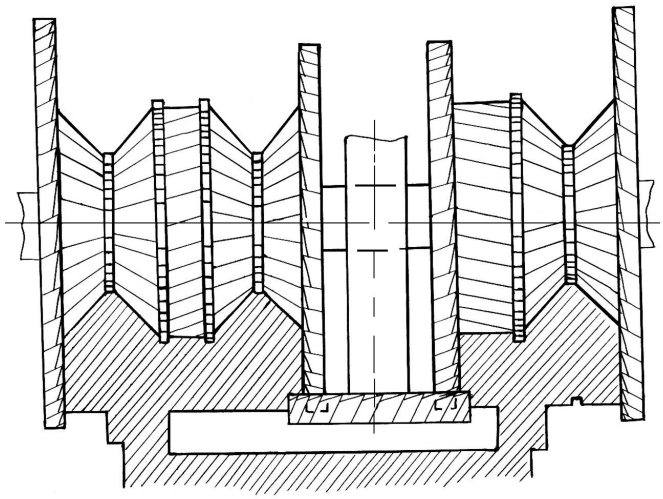


Рис. 15.10. Схема фрезерування набором фрез напрямних станини

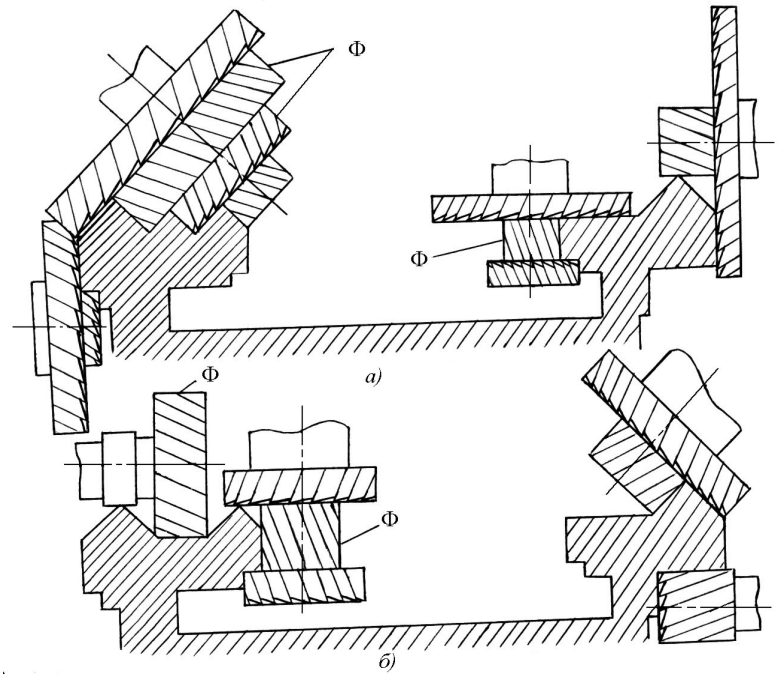


Рис. 15.11. Схема фрезерування напрямних станини на восьмишпиндельному поздовжньо-фрезерному верстаті: а – перший ряд шпинделів; б – другий ряд шпинделів

15.2.5. Обробка торцевих площин

Торцеві площини станин мають різне призначення: для з'єднуваних вузлів вони є привалочними площинами; у вертикальних станин вони відіграють роль основи; у довгих станин, що складаються з декількох секцій, вони служать для з'єднання суміжних секцій. У всіх випадках вони повинні бути перпендикулярними до верхніх привалочних площин чи напрямним, тому по цих поверхнях і потрібно базувати станину при обробці торцевих поверхонь.

В принципі можливі такі способи обробки:

Стругання на поздовжньо-стругальному верстаті двома боковими супортами чи фрезерування на поздовжньо-фрезерному верстаті двома боковими фрезерними бабками. Вибір одного з цих способів виконується на підставі таких же розрахунків, які були вказані при розгляді способів обробки основи. Обидва ці способи надто продуктивні і гарантують високу точність, внаслідок суміщеної обробки обох торців без перевстановлення станини. Проте, якщо оброблювана станина має велику довжину, доводиться призначати цю обробку на верстатах зі столом більшої ширини: унікальних і дуже дорогих, тому така обробка економічна тільки для коротких станин.

Фрезерування на горизонтально-розточувальному верстаті. Більшість цих верстатів має поворотний стіл з точною індексацією. Це дозволяє обробляти обидва торці послідовно і достатньо точно, використовуючи поворот стола на 180º. Проте і цей спосіб пов'язаний із застосуванням дорогих великих верстатів.

Фрезерування на торцефрезерному верстаті.

У верстаті цього виду потужна фрезерна головка має рух подачі по власних напрямних, а оброблювану деталь встановлюють на нерухому плиту. Верстат простий, вартість його невелика.

Суттєвий недолік цього способу – необхідність перевстановлення оброблюваної станини для обробки другого торця. Цей недолік може бути усунений, якщо застосовувати поворотний стіл великого розміру з точною індексацією.

15.2.6. Обробка кріпильних отворів

Отвори, розташовані у площині основи, на верхній частині та на бокових стінках станини, обробляють на радіально-свердлильних верстатах. Базування оброблюваної станини повинно забезпечувати перпендикулярність площини, на якій розташовані отвори, осі шпинделя радіально-свердлильного верстата. Основне питання, що потребує вирішення при проектуванні цієї операції, це питання транспортування оброблюваної станини: її потрібно пересувати вздовж, оскільки використовувати дорогі радіально-свердлильні верстати з великим вильотом недоцільно, і 4 рази повертати навколо поздовжньої осі.

Відносне поздовжнє переміщення можна здійснити двома способами, встановивши станину на візок, який переміщується по рейковому шляху, або застосовуючи радіально-свердлильний верстат на самохідному візку, що переміщується також по рейковому шляху. Обидва ці способи пов'язані зі значним збільшенням площі цеху, що припадає на один радіально-свердлильний верстат. У багатьох випадках найбільш раціональним є розташування двох чи трьох невеликих

радіально-свердлильних верстатів настільки близько один від одного, щоб зони повороту їх роботів частково перекривались. При такому технічному рішенні спарені верстати можуть працювати паралельно на свердлінні однієї станин або незалежно на обробці будь-яких деталей.

Чотириразовий поворот станини для свердління її з чотирьох боків, якщо виконувати його підйомним краном, потребує великих затрат допоміжного часу на очікування крана, піднімання, спуск. Тому навіть при дрібносерійному виробництві економічне застосування поворотних пристроїв (рис. 15.12).

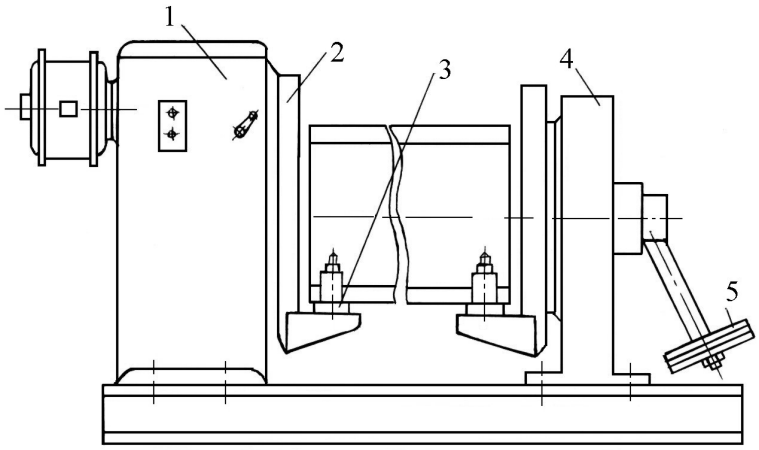


Рис. 15.12. Поворотне пристосування для станин

Потрібні відстані осей отворів від баз і між осями отримують шляхом розмітки в одиничному і дрібносерійному виробництві, а в серійному – за допомогою накладних кондукторів.

Більшість отворів у станинах – різьові, тобто потребують три технологічних переходи: свердління, зенкування фаски і нарізання різі. Найбільш правильна така побудова свердлильної операції: спочатку по кондуктору просвердлити всі отвори з одного боку станини, потім зняти накладний кондуктор, зенкувати всі отвори і після цього нарізати в них різь. Після закінчення обробки всіх отворів повернути станину і приступити до обробки отворів з другого боку. Оскільки в станинах звичайно є багато різних отворів, для обробки яких необхідні різні інструменти, то обов'язкове застосування швидкозмінних патронів, а для мітчиків – запобіжних патронів.

15.2.7. Зміцнююча і фінішна обробка.

Методи зміцнення та фінішної обробки напрямних розроблені верстатобудівними заводами і ЭНИМС. Найбільш перевірені досвідом такі методи зміцнення чавунних прямолінійних напрямних.

НАКЛЕПУВАННЯ ШАРИКАМИ. Цей метод може бути здійснений на поздовжньо-стругальному верстаті особливим інструментом – зміцнювачем.

ПРИКАТУВАННЯ РОЛИКОМ. Цей метод також здійснюється на поздовжньо-

стругальному верстаті. Інструментом є сталевий загартований до твердості HRC 62–64 ролик, що вільно обертається в державці. Ролик повинен мати достатньо великий діаметр, щоб не викликати підвищених місцевих напружень. Напрямні перед прокатуванням повинні бути точно оброблені струганням чи шліфуванням.

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА – поверхневе загартування із нагріванням струмом високої частоти. Цей метод можна застосовувати для чавуну марок СЧ 21-40, СЧ 28-48, а також для високоміцних чавунів. Виконується на спеціальних устаткуваннях.

Фінішну обробку прямолінійних напрямних виконують трьома основними методами: тонким струганням, шліфуванням чи шабрінням.

ТОНКЕ СТРУГАННЯ виконують на звичайних поздовжньо-стругальних верстатах, які знаходяться в доброму технічному стані: напрямні верстата повинні бути точно прямолінійні (не зношені), а вертикальні супорти повинні мати високу жорсткість. При тонкому струганні застосовують різці особливої конструкції та геометрії і особливий режим різання. Так звані "широкі" різці мають різальне лезо великої довжини – до 60 мм, якщо вони із твердого сплаву, і до 100 мм, якщо вони зі швидкорізальної сталі. Важливі умови – прямолінійність та гострота різальної кромки. Це досягається для різців з пластинками із твердого сплаву шліфуванням алмазними кругами, а для швидкорізальних різців – доводкою на чавунних дисках, шаржованих абразивними порошками.

Шліфування торцем круга виконують на спеціальних плоско-шліфувальних верстатах.

ШАБРІННЯ – це трудомісткий та стомлюючий процес для робітника метод обробки. Собівартість фінішної обробки напрямних шабрінням більша собівартості обробки іншими методами. Внаслідок цього застосування шабріння може бути виправдане тільки в особливих випадках:

а) при обробці напрямних, розташованих на торцевій площині великих станин (стояків), наприклад, стояки горизонтально-розточувальних або зубофрезерних верстатів; габарити таких деталей не дозволяють обробляти їх на існуючих шліфувальних верстатах, а тонке стругання не дає необхідної точності;

б) при особливо високій точності по площинності та прямолінійності (допуск менше 0,01/1000 мм); таку точність не дають ні тонке стругання, ні шліфування;

в) для поліпшення якості поверхні напрямних, оброблених методом тонкого стругання; в цьому випадку шабріння має ціллю змінити мікрорельєф поверхні – усунути несприятливі поздовжні штрихи від широкого різця і створити безладні штрихи на поверхні, завдяки яким поліпшується змащуваність напрямних.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які групи параметрів потрібно вказувати при формулюванні службового призначення станин та рам? Дати їм коротку характеристику.
2. Наведіть приклад переходу від службового призначення верстата до точнісних параметрів його станини.
3. Наведіть класифікацію станин за конструктивними ознаками.
4. Сформулюйте основні типові вимоги до станин.
5. Які матеріали та види заготовок застосовуються для станин? З яких міркувань вибирається той чи інший вид заготовок станин?
6. Накресліть теоретичні схеми базування станин при їх обробці.

7. Складіть типовий маршрут обробки станин невідповідальних, невеликих розмірів.

8. Складіть типовий маршрут обробки відповідальних станин.

9. Що представляє собою розмітка станин, її призначення, технологічні методи виконання?

10. Які застосовуються технологічні методи чорнової та чистової обробки основи станин?

11. Які застосовуються чорнові та чистові технологічні методи обробки верхніх привалочних площин та напрямних?

12. Які застосовуються чорнові та чистові технологічні методи обробки торцевих площин станин?

13. Які застосовуються технологічні методи обробки кріпильних отворів на станинах?

14. Дайте характеристику технологічних методів зміцнювання та фінішної обробки поверхонь напрямних станин.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Руденко П.А. Раздел 3. Технология изготовления машин: Конспект лекцій. – Чернишов, 1986. – 159 с.

2. Технология машиностроения (специальная часть) / Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колосов И.М. и др. – М.:М., 1986. – 480 с.

Тема 16. Технологія виготовлення корпусних деталей

16.1. Технологічні відомості про корпусні деталі

16.1.1. Службове призначення деталей, конструктивні види

Корпусні деталі представляють собою базові деталі. На них встановлюють різні деталі та складальні одиниці, точність відносного положення яких повинна забезпечуватись як в статиці, так і процесі роботи машини під навантаженням. У відповідності з цим корпусні деталі повинні мати потрібну точність, бути достатньо жорсткими і вібростійкими, що забезпечує потрібне відносне положення з'єднувальних деталей і вузлів, правильність роботи механізмів і відсутність вібрації.

Конструктивне виконання корпусних деталей, матеріал і необхідні параметри точності визначають, виходячи зі службового призначення деталей, вимог до роботи механізмів і умов їх експлуатації. При цьому враховують також технологічні фактори, пов'язані з можливістю отримання потрібної конфігурації заготовки, можливості обробки різанням і зручності складання, яке починають з базової корпусної деталі.

Корпусні деталі у загальному випадку можна поділити на групи (рис. 16.1). Деталі цих груп мають певну спільність службового призначення, що означає наявність сукупності однакових поверхонь та ідентичне за формою конструктивне виконання. Це, в свою чергу, визначає особливості технологічних рішень, що забезпечують досягнення потрібних параметрів точності при виготовленні деталей кожної групи.

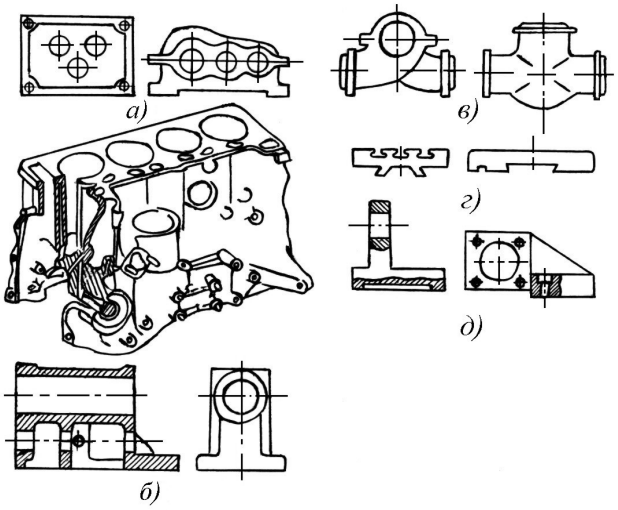


Рис. 16.1. Групи корпусних деталей: а – коробчастого типу (суцільні та рознімні); б – з гладкими внутрішніми циліндричними поверхнями; в – корпуси складної просторової геометричної форми; г – корпусні деталі з напрямними поверхнями; д – деталі типу кронштейнів, косинців

1. Корпусні деталі коробчатої форми у вигляді паралелепіпеда, габарити яких мають однаковий порядок. До цієї групи відносять корпуси редукторів, корпуси коробок швидкостей, коробок подачі шпиндельних бабок (рис. 16.1, *а*). У більшості випадків основними базами таких корпусів є плоскі поверхні, а допоміжними – головні отвори і торці, що призначені для базування валів і шпинделів.

Конструкція та розміри корпусів визначаються умовами розміщення в них необхідних деталей і механізмів. Вони мають стінки, ребра і перегородки, які забезпечують підвищення їх жорсткості. З цією ж ціллю бобишки і приливи, на яких розташовані отвори, мають висоту приблизно 2,5…3 товщини стінки і діаметр в межах 1,4…1,6 діаметра отвору. Корпуси коробчастої форми можуть бути суцільні та рознімні, площина рознімання може проходити по осях головних отворів.

2. Корпусні деталі з гладкими внутрішніми циліндричними поверхнями, протяжність яких перевищує їх діаметральні розміри. До цієї групи відносять блоки циліндрів, двигунів і компресорів, корпуси різних циліндрів і золотників, пневмо- і гідроапаратуру (рис. 16.1, *б*), корпуси задніх бабок, що забезпечують базування висувної пінолі та заднього центра. У відповідності зі службовим призначенням до внутрішніх циліндричних поверхонь висуваються підвищені вимоги по точності діаметральних розмірів і точності геометричної форми. Ці циліндричні поверхні звичайно працюють на зношування. Тому до них висуваються високі вимоги щодо шорсткості та зносостійкості.

3. Корпусні деталі складної просторової геометричної форми. До них відносять корпуси парових і газових турбін, центробіжних насосів, колекторів, трійників, вентилів, кранів (рис. 16.1, *в*). Складна просторова форма і геометричні розміри таких корпусів призначені для формування потрібних потоків руху газів або рідини. До цієї групи відносять також складні за формою корпусні деталі ходової частини машини: картер заднього моста, корпус поворотного важеля тощо.

4. Корпусні деталі з напрямними поверхнями: столи, супутники, каретки, полозки, супорти, повзуни, планшайби (рис. 16.1, *г*). В процесі роботи ці деталі здійснюють зворотно-поступальний або обертовий рух по напрямних поверхнях, забезпечуючи точне відносне переміщення оброблюваних головок і різального інструмента. Такі корпуси входять у склад несучої системи більшості верстатів. Жорсткість цих деталей досягається внутрішніми перегородками і ребрами. Відношення висоти плоских столів, супутників, полозок до ширини знаходиться у межах 0,1…0,18.

5. Корпусні деталі типу кронштейнів, косинців, стояків плит і кришок (рис. 16.1, *д*). Ця група об’єднує найбільш прості за конструкцією корпусні деталі, які виконують функції додаткових опор для забезпечення потрібної точності відносного положення окремих механізмів, валів, зубчастих коліс.

Корпусні деталі мають основні базуючі поверхні звичайно у вигляді площини або комбінації площин, за допомогою яких вони приєднуються до деталей – основами (станинами, рамами чи іншими корпусними деталями) і зберігають правильне відносне положення в машині.

Як допоміжні бази, за допомогою яких забезпечують правильне відносне положення в машині інших приєднуваних до них деталей, можуть бути використані поверхні отворів (для встановлення опор, валів, шпинделів, черв’яків) і площини, а також їх комбінації.

У більшості корпусних деталей є також різні дрібні та різьові кріпильні отвори. Вони призначені для підведення мастильних матеріалів до поверхонь, що труться, і для фіксації досягнутого положення приєднуваних складальних одиниць.

Робота машини та її механізмів означає формування розмірних зв’язків, що

забезпечують виконання службового призначення. У розмірних зв'язках машини чи окремих вузлів корпусна деталь бере участь розмірами і відносними поворотами своїх поверхонь. Ці розмірні та кутові параметри деталі безпосередньо визначають точність положення одного комплекту допоміжних баз відносно другого або точність положення допоміжних баз відносно основних баз деталі. У відповідності з цим до точності геометричної форми, розмірів і відносних поворотів базуючих поверхонь корпусних деталей висуваються підвищені вимоги.

16.1.2. Технічні вимоги до корпусних деталей

До корпусних деталей висувають комплекс технічних вимог, які визначаються в кожному конкретному випадку, в першу чергу, виходячи зі службового призначення деталі. Дотримання технічних вимог означає формування потрібних фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, одержання необхідної міцності та вібростійкості, забезпечення потрібної геометричної точності деталі та створення умов для зручності виконання механоскладальних і експлуатаційних робіт. Технічні вимоги, що стосуються параметрів геометричної точності деталі, дотримуються в результаті обробки різанням на різних етапах технологічного процесу виготовлення корпусної деталі.

В залежності від конструктивного виконання та складності до корпусних деталей висуваються такі технічні вимоги, що характеризують різні параметри їх геометричної точності:

1. Точність геометричної форми плоских базуючих поверхонь. Вона регламентується як прямолінійність поверхні в заданому напрямку на певній довжині і як площинність поверхні в межах її габаритів. Для поверхонь розміром до 500 мм відхилення від площинності nf паралельності звичайно знаходяться в межах 0,01…0,07 мм, а у відповідальних корпусів – 0,002…0,005 мм.
2. Точність відносного повороту плоских базуючих поверхонь. Граничні відхилення від паралельності чи перпендикулярності однієї площини поверхні відносно іншої складають 0,015/200…0,1/200, а для деталей підвищеної точності – 0,003/200…0,01/200.
3. Точність відстані між двома паралельними площинами. Для більшості деталей вона знаходиться в межах 0,02…0,5 мм, а у корпусних деталей підвищеної точності – 0,005…0,01 мм.
4. Точність діаметральних розмірів і геометричної форми отворів. Діаметральні розміри головних отворів, які виконують в основному роль баз під підшипники, відповідають 6…11 квалітетам. Відхилення геометричної форми отворів – некруглість у поперечному перерізі та конусоподібність чи зігнутість у поздовжньому обмежують в межах 1/5…1/2 допуску на діаметр отвору.
5. Точність відносного кутового положення осей отворів. Відхилення від паралельності та перпендикулярності осей головних отворів відносно плоских поверхонь складають 0,01/200…0,15/200, граничні кутові відхилення осі одного отвору відносно осі іншого – 0,005/200…0,01/200.
6. Точність відстані від осей головних отворів до базуючої площини для більшості деталей складає 0,02…0,5 мм, точність відстаней між осями головних отворів – 0,01…0,15 мм, співвісність отворів – в межах 0,002…0,05 мм.
7. Параметр шорсткості плоских базуючих поверхонь R_a = 2,5…0,63 мкм, параметр шорсткості поверхонь головних отворів R_a = 1,25…0,16 мкм, а для відповідальних деталей – до R_a = 0,08 мкм.

Наведені параметри точності є загальними для всього різноманіття різних за конструкцією корпусних деталей машин.

У багатьох випадках допустимі відхилення регламентуються відповідними стандартами. У конкретних же випадках, на всі розміри корпусних деталей, що входять в розмірні ланцюги машини, вузла чи механізму, відхилення необхідно визначати аналітично на підставі вибраних методів рішення тих розмірних ланцюгів, ланками яких є відповідні відстані, розміри чи координати положення поверхонь корпусних деталей.

16.1.3. Матеріал і заготовки

Матеріал. Марку матеріалу для виготовлення корпусних деталей вибирають, виходячи із службового призначення корпуса та умов його роботи. При цьому враховують вплив властивостей матеріалу на такі конструктивні параметри, як міцність та жорсткість конструкції, вібростійкість, зносостійкість окремих поверхонь, габарити і масу деталі. Одночасно необхідно враховувати технологічні фактори, які визначають методи одержання заготовки, оброблюваність матеріалу і пов'язані з цим грошові затрати. Як матеріал для виготовлення різних корпусних деталей застосовують, головним чином, сірий чавун, рідше вуглецеву сталь, використовують також кувальний чавун, леговану сталь і сплави кольорових металів.

Сірий чавун є основним конструктивним матеріалом для виготовлення корпусних деталей. При відносно невисокій вартості він має добрі ливарні властивості, що дозволяє отримувати виливки складної конфігурації. Сірий чавун добре обробляється і має непогані фізико-механічні властивості, які можна змінювати у потрібному напрямку за допомогою модифікації чавуну і термічної обробки. Виливки з сірого чавуну мають високу циклічну в'язкість, що сприяє демпфіруванню коливань. Корпусні деталі металорізальних верстатів, корпуси сільськогосподарських і підйомно-транспортних машин, корпуси різних стаціонарних редукторів, центробіжних насосів виготовляють з сірого чавуну марок СЧ15, СЧ18, СЧ21.

Для малонавантажених деталей типу кришок, плит, піддонів застосовують чавун СЧ12. Корпусні деталі з напрямними, до яких висуваються підвищені вимоги щодо зносостійкості, виготовляють з сірого чавуну СЧ21 і модифікованого чавуну марок СЧ32, СЧ35. Модифікування чавуну сприяє отриманню необхідної форми графіту, зокрема, шароподібного, створенню однорідної структури і підвищенню його міцності. Воно здійснюється шляхом введення в чавун присадок феросиліцію, сілікоалюмінію, церію, магнію і тощо.

Виливки прецизійних верстатів повинні мати однорідну безпористу структуру і мати високі фізико-механічні властивості, рівномірну нормовану твердість, зносостійкість та добру оброблюваність.

Для одержання тонкостінних виливок застосовують чавуни з підвищеним змістом фосфору, який сприяє поліпшенню ливарних властивостей, а також високим змістом вуглецю (до 3,6 %) і кремнію (до 2,8 %).

Плити супутників роблять зі сталей 30Л, 40Х, 12ХН3А, 20Х3ВМФ. Корпусні деталі ходової частини машин, що працюють під великим навантаженням, виконують з сірого чавуну СЧ21, СЧ24, а також з кувального чавуну К4 35-10. Для одержання підвищеної міцності картери задніх мостів автомобілей великої вантажопідйомності виготовляють з ливарних сталей 40Л, 40ЛК. Кувальний чавун і ливарні сталі застосовують також для виготовлення корпусних деталей сільськогосподарських і

дорожніх машин, які піддаються вібраціям, ударним і знакозмінним навантаженням. Блоки циліндрів, головки блоків різних двигунів роблять з чавуну марок СЧ21, СЧ24 і алюмінієвих сплавів.

Корпуси високонапірних насосів, компресорів виготовляють з чавунів підвищеної міцності СЧ24, СЧ28 або сталевого лиття, корпуси парових турбін, що працюють при температурі 250…400 ºС і високому тиску – з модифікованих чавунів підвищеної міцності або вуглецевої сталі 30Л. Для корпусів парових турбін застосовують також леговані (молібденові та хромомолібденові) сталі. Корпуси електродвигунів відливають зі сталі 15Л. Корпусні деталі, що працюють стикаючись з агресивним середовищем, кислотами, лугами, морською водою, виготовляють з корозійностійких матеріалів, зокрема, легованих хромистих чи хромонікелевих сталей 12Х18Н9Т, 20Х23Н13, а також бронзи і ливарної латуні ЛК80-3Л. Для корпусних деталей малої маси широко застосовують алюмінієві та магнієві сплави АЛ4, АЛ8, АЛ10В, АЛ13. Одержання з них точних виливок під тиском дозволяє значно зменшити трудомісткість обробки деталей різанням. Корпусні деталі з легких сплавів широко використовують в авіації та транспортному машинобудуванні.

Зварені корпусні деталі редукторів, зварені деталі типу кронштейнів, косинців у більшості випадків виготовляють з листової маловуглецевої сталі Ст3, Ст4. Штампозварені картери задніх мостів автомобілів роблять з листової сталі 35, 40. У порівнянні з литими картерами вони мають менші габарити і масу, що дозволяє отримувати більш високий коефіцієнт використання металу.

Заготовки. Заготовки корпусних деталей виготовляють литтям або зварюванням.

Виливані заготовки одержують литтям у формувальну суміш, у кокіль, в оболонкові форми, під тиском, для дрібних і легких деталей застосовують лиття за виплавлюваними моделями. Зварені заготовки одержують різанням або штампуванням окремих елементів з листового чи профільного прокату з наступним зварюванням.

Лиття у формувальну суміш є найпоширенішим способом одержання заготовок корпусних деталей внаслідок його універсальності та відносно незначних початкових затрат. Вибір того чи іншого методу формування залежить від конструктивних форм і розмірів виливки, потрібної точності та серійності виробництва.

Ручне формування застосовують для одержання різних виливок в одиничному і серійному виробництвах і при виготовленні великих деталей.

Формування в ґрунт застосовують переважно в одиничному виробництві для одержання виливок середніх і великих розмірів, формування в опоках – у всіх випадках, коли є необхідні парні опоки.

Машинне формування по металевих моделях застосовують для одержання дрібних і середніх виливок в серійному і масовому виробництві.

Лиття в кокіль або в металеву форму застосовують в серійному і масовому виробництві для заготовок з кольорових сплавів, чавуну і сталі.

Литтям в кокіль виготовляють заготовки розмірами до 1,5 м, вагою звичайно – до 85 кг.

Лиття під тиском застосовують для одержання заготовок корпусних деталей з кольорових сплавів (цинкових, магнієвих, алюмінієвих, мідних). Литтям під тиском можуть бути одержані заготовки складної форми, фасонні, тонкостінні з отворами різних розмірів, внутрішніми і зовнішніми різями. Заготовки, одержані литтям під тиском, мають високі механічні властивості та гарний зовнішній вигляд.

В деяких випадках для одержання невеликих тонкостінних виливок корпусних деталей застосовують лиття в оболонкові форми. Цим способом одержують виливки заготовок з різних матеріалів розмірами до 500…700 мм і вагою до 30 кг.

Всі заготовки необхідно піддавати термічній обробці. Вид термічної обробки і режими визначають в залежності від матеріалу виливки, її призначення, конструктивної форми і технічних вимог. Виливки з сірого чавуну, як правило, піддають низькотемпературному відпалюванню для зняття внутрішніх напружень, підвищення в'язкості, запобігання жолоблення і створення тріщин при механічній обробці та експлуатації.

16.1.4. Основні способи базування

Клас корпусних деталей багатий на різні схеми базування. Найбільш поширеними з них є такі:

1. Базування за трьома взаємно-перпендикулярними поверхнями (базування в координатний кут). Переваги – простота пристрою. Недолік – неможливість забезпечення правильності розташування на деталі осей симетрії, якщо такі є.
2. Базування за площиною і двома класними отворами під пальці (один циліндричний, другий – зрізаний). Переваги – простота пристрою і можливість забезпечення правильного розташування осей симетрії. Недолік – необхідність в додатковій та точній обробці базових отворів, навіть якщо такі отвори не передбачені в конструкції деталі.
3. Базування за двома площинами і одним отвором (під ромбічний палець). Перевага – простота пристрою. Недолік – застосувати можна лише для деталей, у яких на осі симетрії розташований точний отвір.

Всі вказані схеми базування є повними, тобто позбавляють заготовку шести ступенів вільності. На практиці зустрічаються також й інші схеми, які у більшості випадків є комбінацією розглянутих вище.

Базування деталей, що мають складну просторову форму, утруднене необхідністю багаторазового використання як баз необроблених поверхонь. В цих випадках рекомендується використовувати пристрої супутника, який повинен бути сконструйованим так, щоб всі оброблювані поверхні мали вільний доступ для обробки. В цьому випадку деталь на всіх операціях обробляється у супутнику без відкріплення її між операціями (схема базування повинна бути повною).

16.1.5. Варіанти технологічного маршруту

Корпусні деталі характеризуються багатоваріантністю обробки. Складна корпусна деталь може мати сотні різних варіантів обробки. Тому говорити про типовий маршрут можна тільки відносно до тієї чи іншої групи деталей, оскільки маршрути обробки кожної з груп дуже відрізняються один від одного. Не прив'язуючись до конкретної групи корпусних деталей, можна лише розглянути два варіанти етапів, по яких може будуватись маршрут обробки кожної конкретної корпусної деталі. При цьому кожний етап складається з декількох операцій.

Розглянемо ці варіанти.

Варіант 1 (базується на принципі концентрації операцій та переходів).

1. Розмітка заготовки.
2. Чорнова і чистова обробка всіх плоских поверхонь.
3. Повторна розмітка.
4. Чорнова і чистова обробка основних отворів.
5. Третя розмітка.

6. Обробка допоміжних отворів.
7. Фінішна обробка плоских поверхонь.
8. Фінішна обробка основних отворів.

Переваги варіанта: простота, комплексність, мінімальний шлях до досягнення кінцевої мети, висока продуктивність та низька собівартість, незначна кількість верстатів, незначні виробничі площі.

Недоліки варіанта: неможливість забезпечення високої точності обробки та можливість жолоблення деталі після її виготовлення і навіть в процесі експлуатації.

Даний варіант побудови маршруту може бути застосований тільки для деталей, до яких не висуваються високі вимоги по точності.

Варіант 2 (базується на принципі диференціації операцій та переходів).

1. Розмітка заготовки.
2. Чорнова обробка всіх плоских поверхонь.
3. Повторна розмітка.
4. Чорнова обробка всіх основних отворів.
5. Старіння.
6. Третя розмітка.
7. Чистова обробка всіх плоских поверхонь.
8. Чистова обробка всіх основних отворів.
9. Четверта розмітка.
10. Обробка допоміжних отворів.
11. Фінішна обробка плоских поверхонь.
12. Фінішна обробка основних отворів.

Переваги варіанта: можливість забезпечення високого ступеня точності деталей.

Недоліки варіанта: велика трудомісткість, більш висока собівартість, необхідність у великій кількості обладнання та додаткових виробничих площах.

Варіант застосовується для деталей з підвищеними вимогами щодо точності та прецизійних деталей. Обидва варіанти закінчуються обов'язковим миттям і сушінням деталей.

16.2. Методи виконання окремих операцій при виготовленні корпусних деталей

16.2.1. Методи обробки зовнішніх площин

Для обробки зовнішніх площин корпусних деталей застосовують стругання, фрезерування, точіння, шліфування та протягування.

В одиничному і дрібносерійному виробництвах, а також при обробці великих, важких деталей широко використовують стругання. Пояснюється це простотою та дешевизною інструмента і налагодження, можливістю обробляти поверхні складного профілю простим універсальним інструментом, його чуйністю до ливарних вад і можливістю знімати за один прохід великі припуски (до 20 мм).

Продуктивність стругання низька через холості ходи і відносно низьку швидкість зворотно-поступального руху. Збільшувати швидкості різання і холостих ходів не можна через виникнення великих інерційних сил при зміні напрямку руху.

Продуктивність стругання підвищується при обробці груп деталей, розташованих в один або декілька рядів на столі верстата. Це зменшує втрати часу на перебіги стола в кінці робочого і холостого ходів, зменшує допоміжний час на пуск і зупинку верстата, приготування та прибирання інструмента, закріплення заготовок. Можна

застосувати також групову обробку деталей різних найменувань. Продуктивність стругання також підвищується при обробці довгих вузьких поверхонь.

Найбільшого поширення при обробці площин корпусних деталей одержав метод фрезерування. В залежності від характеру і розташування оброблюваних поверхонь застосовують верстати консольно-фрезерні, поздовжньо-фрезерні з кількістю шпинделів 1-8 і більше, карусельо-фрезерні, барабанно-фрезерні.

При виборі верстата для даної операції необхідно виходити з того, щоб на ньому можна було обробляти всі зовнішні площини деталі при мінімальній кількості перевстановлень. При цьому легше забезпечити точність відносного положення оброблюваних поверхонь при високій продуктивності праці.

Для обробки площин невеликих деталей в одиничному і серійному виробництвах можуть бути використані консольно-фрезерні верстати з поворотними столами, при цьому за одне встановлення можна обробляти чотири площини деталі. Багато деталей типу кронштейнів, косинців, стояків можна обробляти на консольно-фрезерних верстатах. Обробка з використанням двопозиційних поворотних пристроїв дає можливість скоротити допоміжний час.

При обробці на поздовжньо-фрезерних верстатах застосовують групову обробку деталей і одночасну обробку декількома інструментами. При цьому можливі такі варіанти:

1) встановлення деталей в один ряд (рис. 16.2, *а*). В даному випадку послідовно обробляють деталі одного найменування, при цьому перекриваються шляхи на врізання та вихід інструмента;

2) встановлення деталей у два ряди (рис. 16.2, *б*);

3) встановлення з перекладанням деталей. На поздовжньо-фрезерному верстаті встановлюють декілька (3, 4 і більше) деталей, які в різних позиціях спеціального пристрою займають різні положення відносно верстата і інструментів. В кожній позиції обробляють одну або декілька поверхонь фрезою, закріпленою у відповідному шпинделі верстата. Після кожного робочого ходу стола з останньої позиції знімають оброблену деталь, а після перекладання решти деталей в наступні позиції на першу позицію встановлюють нову заготовку.

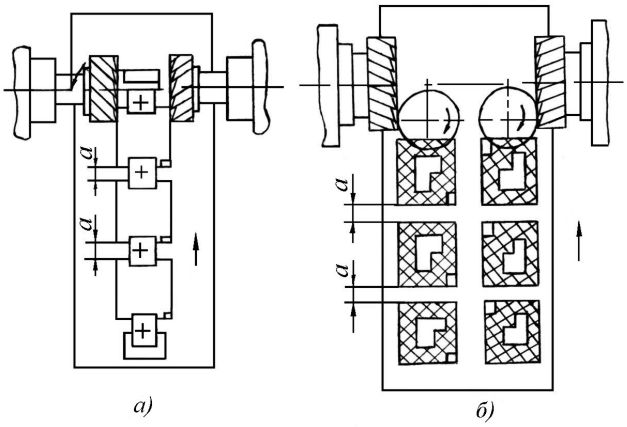


Рис. 16.2. Групове встановлення деталей на поздовжньо-фрезерному верстаті

У великосерійному і масовому виробництві одержав застосування високопродуктивний метод обробки – безперервне фрезерування. Воно виконується на карусельно-фрезерних або барабанно-фрезерних верстатах.

Карусельно-фрезерні верстати дво- або тришпиндельні застосовують для обробки

порівняно невеликих корпусних деталей з розмірами оброблюваних площин приблизно до 600 мм. На столі верстата встановлюють по колу пристрої, кількість яких залежить від розмірів стола, конфігурації та розмірів заготовки. В кожному пристрої встановлюють заготовку. Фрезерування виконують при безперервному обертанні стола, при цьому виконується паралельно-послідовна чорнова і чистова обробка. Оскільки зміна заготовки виконується поза зоною фрезерування при обертанні стола, допоміжний час повністю перекривається машинним часом.

Фрезерують площини на барабанно-фрезерному верстаті торцевими фрезами при безперервному обертанні барабана відносно горизонтальної осі. Барабан розміщений між двома стояками станини, в яких змонтовані шпинделі верстата, і має чотири, шість або вісім граней, на яких закріплюють пристрої для встановлення заготовок. Шпинделі, загальна кількість яких досягає восьми, розташовуються горизонтально в бокових стояках станини з обох боків барабана. На цьому верстаті виконують паралельно-послідовне чорнове і чистове фрезерування зовнішніх паралельних площин деталей. Зміну заготовок виконують при безперервному обертанні барабана.

Фінішну обробку площин чавунних корпусних деталей часто виконують на плоскошліфувальних верстатах шліфуванням периферією круга, торцем чашкового круга і торцем сегментного круга. Плоскошліфувальні верстати мають прямокутний або круглий стіл, причому верстати з круглим столом більш продуктивні. На них, у випадку малих припусків, можна виконувати безперервне шліфування. Плоске шліфування може бути як чорнове, так і чистове. Плоске шліфування не чутливе до ливарної кірки.

В масовому виробництві великого поширення набуло протягування зовнішніх площин.

Протягування – найпродуктивніший метод обробки, який виконують на спеціальних потужних і швидкохідних протяжних верстатах, на яких обробку ведуть протяжками з твердих сплавів зі швидкістю різання, яка досягає 60 м/хв (для деталей з чавуну).

Протяжні верстати горизонтального і вертикального типів однопозиційні та багатопозиційні вбудовують і в автоматичні лінії.

Переваги протягування у порівнянні з фрезеруванням: висока продуктивність, висока точність внаслідок простоти схеми обробки і раціонального розподілу припуску між різними ділянками протяжки, висока стійкість інструмента, – калібрувальна частина знімає незначний припуск і добре зберігає свою форму і розміри.

Недоліки протягування: висока собівартість протяжки, великі сили, що виникають при протягуванні не дозволяють обробляти деталі малої жорсткості.

16.2.2. Методи обробки основних отворів

Обробка основних отворів – це найбільш відповідальна і трудомістка частина технологічного процесу виготовлення корпусних деталей. Обробка отворів поділяється на чорнову, чистову і фінішну.

При чорновій обробці отворів необхідно видалити основну кількість металу припуску, забезпечити точність відносного положення осі отвору і рівномірний припуск для точної чистової обробки. У зв’язку з цим для чорнової обробки необхідно використати високопродуктивний інструмент і обладнання, яке має високу жорсткість та потужність.

Чистова обробка повинна забезпечувати точність розмірів, геометричної форми і

відносного положення оброблюваного отвору. Особливо важливо забезпечити точність положення і прямолінійність осі отвору. Для чистової обробки необхідний різальний інструмент, що має велику стійкість, забезпечує високу точність та малу шорсткість поверхні, достатньо точне і жорстке обладнання.

В деяких випадках для поступового наближення до потрібної точності по всіх параметрах між чорновою та чистовою обробкою отвору виконують напівчистову обробку різцем, зенкерами або чорновими розвертками.

Фінішну обробку застосовують у випадку необхідності для підвищення точності та зниження шорсткості оброблюваної поверхні.

Для обробки отворів застосовують свердла, різці, зенкери, розвертки, розточувальні головки, розточувальні пластини. Фінішну обробку отворів виконують також пластичним деформуванням за допомогою шарикових і роликових розкатників.

Комбіновані різальні інструменти дозволяють виконувати послідовно за один прохід чорнову і чистову обробку поверхні або суміщати декілька видів обробки (наприклад, свердління, зенкерування, розвертання, підрізання торців), або обробляти декілька поверхонь. Це дає можливість підвищити концентрацію переходів і скоротити машинний і допоміжний час, зменшити номенклатуру інструментів і пристроїв і використати більш просте і менш точне обладнання для виконання складної та точної роботи.

Комбіновані інструменти, що складаються зі свердел, зенкерів, розверток, звичайно застосовують для обробки отворів, які мають відкритий ступінчастий контур або гладкий діаметром до 100 мм і глибиною до 400 мм.

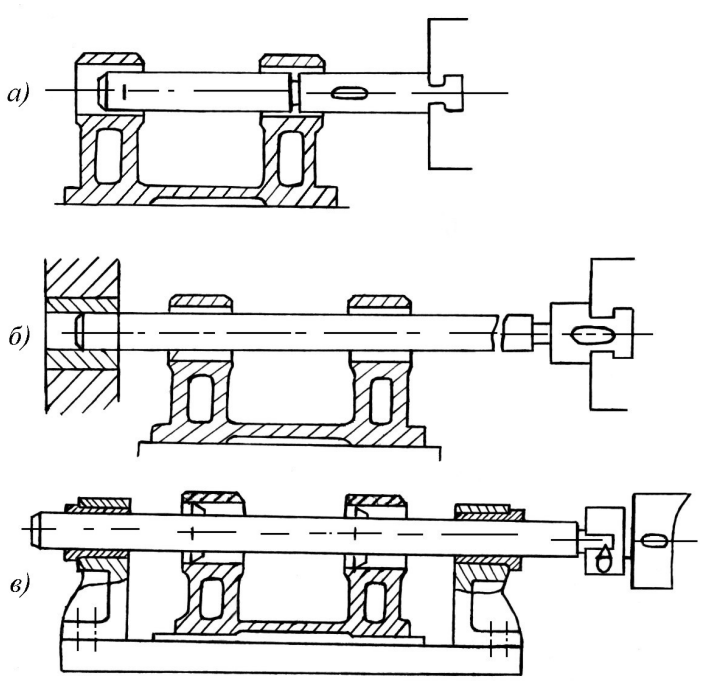


Рис. 16.3. Схеми основних способів розточування на горизонтально-розточувальних верстатах

Торцеві поверхні обробляють підрізними різцями і торцевими зенкерами.

Основні отвори розточують на горизонтально-розточувальних, координатно-розточувальних, радіально-свердлильних, карусельних і агрегатних верстатах, а в деяких випадках – на токарних верстатах.

Існує три основних способи розточування отворів на горизонтально-розточувальних верстатах:

а) консольними оправками (рис. 16.3, *а*);

б) борштангами з використанням опори заднього стояка (рис. 16.3, *б*);

в) в кондукторах при шарнірному з'єднанні розточувальних оправок зі шпинделем верстата (рис. 16.3, *в*).

Подача при кожному з цих способів здійснюється шпинделем або столом.

Точність міжосьових відстаней, а також точність положення отворів відносно баз досягається за допомогою розмітки, методом пробного розточування, кнопочним методом, розточуванням в кондукторах, координатним методом, по накладних шаблонах.

Розточування по розмітці застосовують як попередню операцію в одиничному і дрібносерійному виробництвах. Методи пробного розточування і кнопочний застосовують також в одиничному і дрібносерійному виробництві, при цьому досягається точність міжосьових відстаней ±0,02 мм.

Значно більш поширений координатний метод розточування на горизонтально-розточувальних верстатах. Цей метод використовують при розточуванні деталей, які мають декілька отворів з паралельними осями, коли відносне положення осі кожного отвору можна визначити двома розмітками, що пов'язують її з вдома перпендикулярними площинами деталі, в яких ніби розташовуються осі координат.

Сучасні моделі горизонтально-розточувальних верстатів 2620 і 2622 мають оптичні системи відліку по шкалах і забезпечують точність відліку ±0,01 мм. Таким чином, на цих верстатах можна отримати точність міжосьових відстаней при розточуванні отворів ±0,02 мм без застосування індикаторних пристосувань.

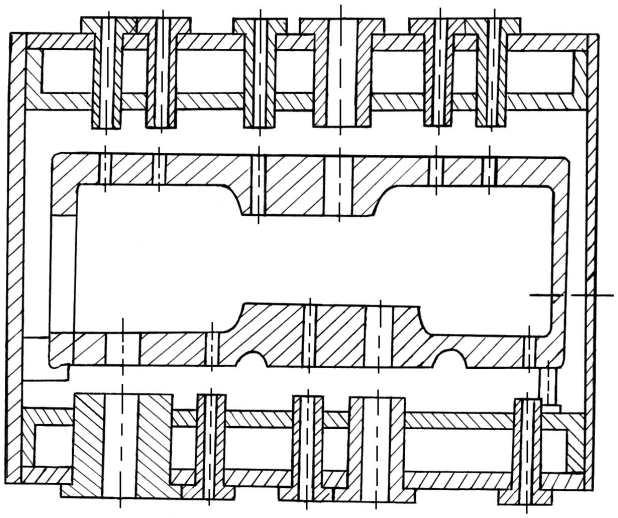


Рис. 16.4. Пристрій для обробки отворів на радіально-свердлильному верстаті

При розточуванні деталей в кондукторах і по накладних шаблонах точність

міжосьових відстаней може бути отримана в межах від ±0,02 мм до ±0,03 мм.

Розточування відповідальних отворів в невеликих корпусних деталях можна виконувати також на радіально-свердлильних верстатах, забезпечуючи потрібну точність обробки. Для цього повинно бути надійне спрямування інструмента, що досягається застосуванням пристроїв з напрямними втулками і розточувальних оправок. На рис. 16.4 наведена схема пристрою, який встановлюють на поворотний стояк, обробку деталі виконують з двох боків з короткими оправками.

У великосерійному і масовому виробництві для обробки отворів у корпусних деталях широко застосовують агрегатно-розточувальні верстати, які працюють у потоковому виробництві, в автоматичних лініях або використовуються окремо.

За своїм характером агрегатні верстати є спеціальним обладнанням, їх застосування потребує ретельних економічних обгрунтувань.

У дрібносерійному виробництві для обробки корпусних деталей можна використовувати верстати з ЧПК.

16.2.3. Методи обробки кріпильних та інших отворів

Всі інші отвори в корпусних деталях (кріпильні, отвори під пробки, маслопокажчики) мають невеликий діаметр. Їх обробляють на свердлильних верстатах, виконуючи переходи: свердління, зенкерування, циклування, зняття фасок, розвертання, нарізання різей. При цьому застосовують відповідний різальний та допоміжний інструмент.

В залежності від розмірів і конструктивних форм деталей і серійності виробництва застосовують різні кондуктори: коробчастого типу, накладні, поворотні, чи виконують роботу за розміткою. Основним видом обладнання є вертикально-свердлильні, радіально-свердлильні та агрегатні верстати.

В одиничному виробництві звичайно свердління отворів виконують за розміткою. Щоб підвищити точність та покращити умови роботи, свердління необхідно вести у два або три переходи: перш за все за наміченими центрами отворів виконують засвердлення свердлом малого діаметра (приблизно рівним 0,25d, де d – діаметр отвору), потім свердлять свердлом діаметра d, якщо $d \leq 25…30$ мм, при більшому діаметрі виконують свердління та розсвердлювання або зенкерування. Підрізання торців виконується зенківками або підрізними різцями. В отворах під різь до нарізання її конічними зенківками або різцем знімають на вхідній стороні фаски до зовнішнього діаметра різі.

Деталі вагою до 30 кг можна обробляти на вертикально-свердлильних верстатах, деталі більшої ваги обробляють на радіально-свердлильних або горизонтальних верстатах.

Дрібні кріпильні отвори у великих корпусних деталях можна свердлити при складанні. Деякі інші отвори, наприклад, під контрольні штифти або під стопорні гвинти, якщо їх свердлять відразу в двох деталях після запресування, можна також виконувати при складанні.

При обробці деталей на свердлильних верстатах, коли доводиться застосовувати велику кількість різних інструментів, для скорочення допоміжного часу на встановлення інструменту застосовують швидкозмінні патрони і свердлильні револьверні головки.

16.2.4. Методи фінішної обробки основних отворів

Фінішними операціями обробки основних отворів є тонке розточування, планетарне шліфування, хонінгування, розкатування роликами.

Тонке (алмазне) розточування застосовують для одержання високої точності розмірів, геометричної форми, напрямку і прямолінійності осі отвору. Характерними для тонкого розточування є робота з високою швидкістю різання, малими подачами і глибиною. Швидкості різання при обробці деталей з чавуну звичайно приймають в межах 100–200 м/хв, зі сталі – 120–250 м/хв, з кольорових сплавів – до 800 м/хв. Подача при обробці деталей з чавуну – 0,03–0,15 мм/об, зі сталі – 0,02–0,12 мм/об, з кольорових сплавів – 0,02–0,10 мм/об; глибина різання – відповідно 0,1–0,35; 0,1–0,3; 0,05–0,4 мм. Охолодження, як правило, не застосовують. Верстати для тонкого розточування – одношпиндельні та багатошпиндельні, вертикальні та горизонтальні – мають високу жорсткість та вібростійкість, багатошпиндельні верстати, як правило, спеціальні.

Різальним інструментом є однолезові різці з пластинками із твердих сплавів. Для розточування деталей з кольорових сплавів застосовують також алмазні різці. Різці закріплюють в консольних, жорстких стальних оправках.

За діаметральними розмірами при тонкому розточуванні одержують 7-й і 5-й квалітети, похибки форми (овальність, конусність) при розточуванні оправками з твердих сплавів можуть бути одержані в межах 3–4 мкм, шорсткість поверхонь досягає R_a = 1,25–0,16 мкм. Тонке розточування застосовують для обробки тонких гладких отворів діаметром до 200 мм в деталях середніх і невеликих розмірів.

Внутрішнє планетарне шліфування застосовують для обробки отворів діаметром більше 150 мм. Заготовку встановлюють на столі верстата. Шліфувальний круг, обертаючись відносно осі шпинделя, здійснює планетарний рух, тобто обертання відносно осі отвору, що шліфується. Поздовжня подача здійснюється зворотно-поступальним рухом заготовки, поперечна – переміщенням шліфувального круга. При цьому досягається висока точність діаметральних розмірів (до 5-го квалітету включно), геометричної форми отворів і відносного положення осі, шорсткість поверхні R_a = 0,16 мкм. Недолік цього методу – низька продуктивність.

Хонінгування – процес чистової обробки отворів абразивними брусками. Основне призначення цього виду обробки – одержання високої точності геометричної форми отвору і малої шорсткості. Хонінгування не виправляє положення осі отвору.

Хонінгування виконують на спеціальних одно і багатошпиндельних хонінгувальних верстатах (найчастіше вертикальних). Абразивні бруски встановлюють в хонінгувальні головки. Кількість брусків беруть кратного трьом (6, 9, 12 і так далі), для малих отворів застосовують головки з одним бруском. Конструкція головки забезпечує встановлення брусків на потрібний діаметральний розмір і розтискання брусків. В процесі роботи хонінгувальній головці надається два рухи: обертальний навколо осі оброблюваного отвору і зворотно-поступальний вздовж цієї осі. При такій комбінації рухів оброблювана поверхня покривається густою сіткою тонких штрихів – слідів абразивних зерен. Колова швидкість інструмента при хонінгуванні складає для деталей з чавуну 60–75 м/хв, зі сталі – 45–60 м/хв і з кольорових сплавів 70–90 м/хв. Швидкість поступального руху головки знаходиться в межах 10–20 м/хв.

Хонінгування виконують з сильним охолодженням. При обробці деталей з чавуну для охолодження застосовують гас, при обробці деталей зі сталей – гас з

домішками парафіну. Хонінгувальна головка встановлюється по отвору деталі, тому вона шарнірно з'єднується зі шпинделем верстата. У зв'язку з цим хонінгуванню повинна передувати обробка отвору, що забезпечує точне положення осі отвору та її прямолінійність. Звичайно це забезпечують розточуванням.

Припуск на хонінгування залежить від діаметра отвору, матеріалу деталі та характеру попередньої обробки. Після розточування припуск на хонінгування повинен бути в межах 0,05–0,08 мм на діаметр, після розвертання – 0,02–0,04 мм, після шліфування – 0,01–0,02 мм.

Хонінгуванням обробляють отвори діаметром 15–200 мм і більше. При цьому одержують 5-й квалітет точності і шорсткість поверхні R_a = 0,08–0,02 мкм.

Хонінгуванням обробляють циліндри автомобільних і тракторних двигунів, отвори під пінолі задніх бабок, отвори гідроциліндрів та інші отвори, точність і чистота обробки яких повинна бути вища, за ту, що можуть забезпечити інші методи обробки.

Для фінішної обробки відповідальних отворів великої довжини в стальних корпусах (корпуси поршневих, плунжерних, гвинтових насосів, корпуси гідроциліндрів) широко використовують методи пластичного деформування – розкатування отворів. Цей метод може бути застосований також для деталей з будь-яких матеріалів, спроможних пластично деформуватись в холодному стані, твердість яких не перевищує HRC35…40.

Розкатуванням одержують шорсткість R_a = 0,08–0,04 мкм. При цьому твердість поверхневого шару зростає приблизно на 20 %, а продуктивність у порівнянні з хонінгуванням збільшується у 5 разів.

Оскільки розкатка встановлюється по отвору, то розкатуванню повинна передувати операція механічної обробки, що забезпечує потрібну точність отвору та його відносне положення. Розкатування можна виконувати на свердлильних, токарних та інших верстатах.

В одиничному і дрібносерійному виробництвах для досягнення вищої точності широко використовують притирання із застосуванням м'яких і твердих абразивних матеріалів. Притирання не потребує застосування складних дорогих верстатів, його можна виконати на токарних, свердлильних та інших верстатах, а також вручну. Притиранням можна одержати будь-яку шорсткість. Точність відносного положення і форми повинна бути забезпечена попередньою обробкою.

16.2.5. Контроль корпусних деталей

Найбільш типовими для корпусних деталей є вимірювання розмірів отворів і точності їх взаємного положення. Для вимірювання діаметра отворів в залежності від конкретних виробничих умов застосовують як універсальні вимірювальні засоби, так і різні калібри – пробки. Універсальними вимірювальними засобами є індикаторні внутрішньоміри, мікрометричні штихмаси, спеціалізовані штангенциркулі.

На підставі досвіду роботи промисловості можна вважати, що гранична похибка вимірювального засобу повинна складати 10–20 % допуску вимірювальної величини, в окремих випадках, коли допуск дуже малий, гранична похибка може складати до 30 % допуску.

На автомобільних заводах широко застосовують пневматичні методи контролю, які дозволяють виконувати безконтактні вимірювання.

Для контролю точності відносного положення отворів використовують контрольні оправки та інших простіші пристрої (5 квалітет точності), оснащені

індикаторами. Схеми контролю співвісності, паралельності осей, перпендикулярності та інших, параметрів наведені в книзі Беспалова Б.Л. “Технологія машинобудування. Спеціальна частина”.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Сформулюйте службове призначення корпусних деталей.
2. Наведіть класифікацію корпусних деталей за конструктивними ознаками.
3. Сформулюйте основні типові технічні вимоги до корпусних деталей.
4. З яких матеріалів та видів заготовок виготовляються корпусні деталі? Дайте їх коротку характеристику.
5. Накресліть типові теоретичні схеми базування корпусних деталей при їх обробці.
6. Складіть типовий технологічний маршрут обробки корпусу за принципом концентрації операцій.
7. Складіть типовий технологічний маршрут обробки корпусу за принципом диференціації операцій.
8. Якими технологічними методами обробляються зовнішні площини корпусних деталей?
9. Якими технологічними методами обробляються основні отвори корпусних деталей?
10. Якими технологічними методами забезпечується точність міжосьових відстаней основних отворів?
11. Якими технологічними методами обробляються кріпильні отвори корпусних деталей?
12. Які технологічні методи застосовують для фінішної обробки основних отворів?
13. Охарактеризуйте технологічний метод – тонке розточування основних отворів.
14. Охарактеризуйте технологічний метод – внутрішнє планетарне шліфування.
15. Охарактеризуйте технологічний метод – хонінгування основних отворів.
16. Охарактеризуйте технологічні методи контролю якості корпусних деталей.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Проектирование технологии / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.:М., 1990. – 416 с.
2. Руденко П.А. Раздел 3. Технология изготовления машин: Конспект лекцій. – Чернишов, 1986. – 159 с.
3. Технология машиностроения (специальная часть) / Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колосов И.М. и др. – М.:М., 1986. – 480 с.
4. Якимов О.В., Гусарев В.С., Якимов О.О., Линчевський П.А. Технологія автоматизованого машинобудування. – К. 1994. – 400 с.

Тема 17. Технологія виготовлення важелів, вилок і шатунів

17.1. Службове призначення та конструктивні різновиди

Важелі, коромисла, собачки, повідки, ручки, прихвати та інші подібні деталі є кінематичними ланками механізмів машин, приладів і технологічного оснащення і належать до деталей типу важелів. Важелі, здійснюючи коливальний або обертовий рух, передають необхідні сили і забезпечують задані закони руху з'єднаних з ними деталей. Для досягнення певного положення важеля (рис. 17.1, *а, б*) і при повороті його базування в механізмі здійснюється за подвійною напрямною базою: циліндричним або конічному посадочним отвором 3, іноді шліцьовим (рис. 17.1, *в*). Інші циліндричні та нарізні отвори 4 (рис. 17.1, *а–е*), осі яких паралельні (рис. 17.1, *г–е*) чи перпендикулярні (рис. 17.1, *а, б*), осі отвору 3 служать допоміжними базами і забезпечують базування приєднуваних деталей механізму. Для закріплення цих деталей і самого важеля 1 (рис. 17.1, *г*), часто передбачають пази для стягування важеля кріпильними деталями. За допомогою торців 5 важелів забезпечується його осьове положення. Оскільки важіль не сприймає значних осьових навантажень, то достатньо, щоб один з його торців був опорною базою. Однак в процесі роботи механізму невідомо, яким із торців важіль буде підтискатись і базуватись зі сполучуваними деталями. Тому обробляють обидва торці. Забезпечення перпендикулярності цих торців осі отвору 3 запобігає заклинювання важеля при його хитанні під час роботи.

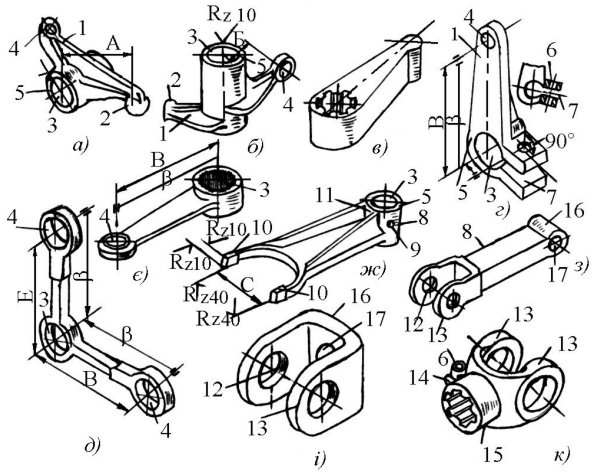


Рис. 17.1. Конструкції важелів та вилок

Для створення визначеності базування та закріплення важеля 1 в осьовому і кутовому положенні необхідно мати поперечний отвір 6 для кріпильної деталі.

Низка важелів для дії на з'єднувані деталі має виконавчі поверхні 2 (рис. 17.1, *а–в*) криволінійної форми.

Розрізняють вилки двох видів: вилки перемикання і вилки шарнірних з'єднань.

Вилки перемикання 8 (рис. 17.1, *ж*) призначені для зміни кінематичних і

динамічних зв'язків машин шляхом осьового зворотно-поступального пересування муфт, зубчастих коліс та інших подібних деталей. Такі вилки 8 з обох боків мають плоскі виконавчі поверхні 10, за допомогою яких при перемиканні передачі досягається контакт зі сполучуваними деталями з одного боку вилки 8 по всіх поверхнях 10. Для забезпечення мінімального перекосу вилки 8 її потрібно базувати в механізмі за основною базою – високоточним отвором 3, тобто за подвійною напрямною базою. Для цього вилка 8 повинна мати бобишку 11 значної довжини. Щоб вилка 8 могла виконувати своє службове призначення, її виконавчі поверхні повинні бути перпендикулярними до осі отвору 3.

Базування та закріплення вилки 8 у кутовому і осьовому положенні здійснюється за допомогою отвору 9, розташованому в бобишці так, що його вісь перпендикулярна осі отвору 3.

Вилки шарнірних з'єднань рухомих деталей машин (рис. 17.1, *з–к*) для виконання ними службового призначення мають вушка 13 зі співвісними зазвичай циліндричними отворами 12 для базування за подвійною напрямною базою з'єднувальних шарнірних осей. Базування самої вилки 8 також виконується за подвійною напрямною базою, а саме: за хвостовиком 15 (рис. 17.1, *к*) зі шліцьовою, конічною або циліндричною зовнішньою чи внутрішньої поверхнею або за бобишкою 16 з отвором 17 (рис. 17.1, *і*), вісь якого перпендикулярна до осей отворів 12 у вушках 13 (рис. 17.1, *к*) чи паралельна їм (рис. 17.1, *з*).

Ці вилки звичайно закріплюються на деталях завдяки пружній деформації хвостовика 15 (рис. 17.1, *к*) при затягуванні нарізних деталей в отвір 6 бобишки 14. Для збільшення пружної піддатливості у вилки часто прорізують паз шириною (4±0,2)…(6,5±0,2) мм з параметрами шорсткості поверхонь $R_z = 40$ мкм.

Особливості конструкції поворотних кулаків полягають у тому, що співвісні отвори, подібні отворам 12 вилок шарнірних з'єднань (рис. 17.1, *к*) розташовані, як правило, не під прямим кутом до осі конічного хвостовика з циліндричними посадочними східцями під підшипники.

Шатуни є ланками шатунно-кривошипних механізмів, головним чином поршневих двигунів внутрішнього згоряння і компресорів, де вони служать для передачі сили від поршня та перетворення його зворотно-поступального руху в обертовий рух колінчастого вала двигуна, в компресорах навпаки – обертовий рух вала перетворюється у зворотно-поступальний рух поршня, який стискає повітря для подачі його під тиском. В технологічному плані шатуни можна також віднести до групи важелів.

При роботі шатуни піддаються дії значних знакозмінних робочих навантажень і сил інерції. Для цього шатун повинен мати достатню міцність та жорсткість при якомога можливій масі.

Спільність службового призначення шатунів визначає їх конструктивну спільність: наявність великої (кривошипної) та малої (поршневої) головок, з'єднаних тілом 1 з ребрами по периферії (рис. 17.2). Проте, конструктивне виконання цих елементів може бути різним. Більшість шатунів має рознімні кривошипні головки, причому у автотракторних двигунів (в яких встановлення шатунів в картер через циліндр утруднене із-за значних розмірів кривошипних головок) роз'єм виконують під кутом до площини симетрії шатуна для зручності його встановлення. Кривошипні головки шатунів великих компресорів у ряді випадків конструюють не тільки рознімними, але й від'ємними від стиржнів, що створюють тіло шатуна.

При складених колінчастих валах з використанням підшипників кочення, як в мотоциклетних двигунах, можливе застосування нерознімних кривошипних головок

шатунів.

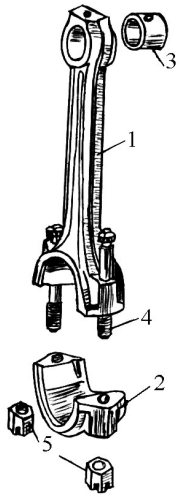


Рис. 17.2. Шатун: 1 – тіло; 2 – кришка; 3 – втулка; 4 – болти; 5 – гайки

В кривошипні головки шатунів для зниження тертя ковзання встановлюють вкладиші з антифрикційним покриттям.

Кришку 2 – від'ємну частину кривошипної головки – базують за площиною рознімання тіла шатуна 1 і закріплюють за допомогою призонних болтів 4 з гайками 5 чи за допомогою уступів у місці стискання кришки 2 з тілом 1 шатуна.

Поршневу головку шатунів виконують переважно нерознімною, в неї запресовують бронзову біметалічну (сталь-бронза) чи з капроновою сітчатою стрічкою втулку 2. У великих шатунах в деяких випадках застосовують вставні вкладиші, які закріплюють спеціальними клинами. Для припасування комплекту шатунів швидкоходових машин за масою на них передбачають бобишки, з яких за необхідності знімають метал.

Тіло шатунів звичайно має двотавровий переріз і тільки у великих шатунів іноді – круглий переріз, причому в середині них можуть бути мастилопровідні отвори, що з'єднують поверхні тертя головок шатуна.

17.2. Технічні вимоги до важелів, вилок і шатунів

Важелі та вилки. В залежності від службового призначення деталі її отвори, що є основними і допоміжними базами, повинні бути виготовлені в межах допусків H6–H11, а відхилення міжосьових відстаней не повинні перевищувати (0,05…0,50) мм.

Осі отворів для допоміжних баз деталі повинні бути паралельними чи відповідно перпендикулярними до осі отвору – основної бази, допустиме відхилення від – 0,02:100 до 0,10:100.

Для забезпечення прилягання торців бобишок важелів і вилок з'єднань до сполучуваних деталей і зниження контактних напружень ці торці повинні бути перпендикулярними до осей відповідних отворів, допустиме відхилення – від 0,1:100

до 0,3:100, а параметр шорсткості їх поверхні R_a = 0,32…1,25 мкм.

Виконавчі поверхні важелів перемикання для забезпечення потрібного з'єднання з поверхнями пересувних деталей повинні бути перпендикулярними до осі отвору – основної бази, допустиме відхилення – від 0,05:100 до 0,10:100, а параметр шорсткості поверхні R_a = 0,63…2,5 мкм, для важелів-коромисел клапанів – від R_a = 0,63 мкм до R_z = 40 мкм.

Параметр шорсткості поверхні отворів R_a = 0,63…2,5 мкм, а відхилення їх форми – звичайно в межах допуску на діаметр.

Для збільшення терміну служби твердість виконавчих поверхонь цих деталей встановлюють HRC (40–50)…(50–5).

Шатуни. Для забезпечення роботи шатунів у двигунах чи компресорах внутрішня поверхня вкладишів кривошипних головок повинна прилягати до відповідних шатунних шийок колінчастого вала, а втулки чи вкладиші поршневих головок – до пальців поршнів. Для цього необхідно, щоб вісь отвору поршневої головки була паралельна осі отвору кривошипної головки і, крім того, повинні бути забезпечені певна точність діаметральних розмірів, форми і параметр шорсткості отворів обох головок.

Допустиме коливання маси кожної головки і тіла шатуна автомобільних і тракторних двигунів в комплекті не повинно перевищувати 2…5 г, а всього комплекту шатунів – 4…10 г.

Міцність шатунів гарантується правильним вибором матеріалу і виконанням вимог до їх макро- і мікроструктури.

Основні технічні вимоги на шатуни регламентовані для різних машин державними стандартами.

У відповідності з державними стандартами отвори під втулку, що запресовується, і отвір в неї під поршневий палець двигуна повинні бути виготовлені за посадками H7–H8. Для підвищення точності поршневого пальця автомобільні шатуни сортують на групи за діаметром отвору втулок з інтервалом 2,5 мкм, а тракторні шатуни – згідно з заводськими ТУ. Відхилення від циліндричності отвору втулки в шатуні не повинно перевищувати 2,5 мкм для бензинових двигунів і 2/3 допуску на його діаметр для дизельних двигунів. Параметр шорсткості поверхні отвору втулки R_z = 2…6,3 мкм.

Отвори під вкладиші в кривошипних головках шатунів повинні бути виготовленні за посадками H6–H7. Допуски циліндричності отворів – не більше 4…6 мкм для бензинових двигунів і 2/3 допуску на діаметр для дизельних шатунів, а R_z = 2…6,3 мкм.

Допуск співвісності отвору запресованої втулки з отвором в кривошипній головці не повинен перевищувати 0,04…0,05 мм на довжині 100 мм для бензинових двигунів і 0,03…0,05 мм на тій же довжині для дизельних. Допуск паралельності цих осей 0,02…0,04 мм на довжині 100 мм.

Відхилення міжосьової відстані у шатунів для окремих типів ± (0,03…0,10) мм.

Допуск перпендикулярності торців кривошипної головки до осі отвору – не більше 0,005…0, 010 мм для автотракторних двигунів. Допуск перпендикулярності площадок під гайки і головки призонних болтів до осей отворів для них 0,07…0,010 мм на довжині 100 мм.

Отвори під призонні болти виготовляють за посадкою H9.

17.3. Матеріали і способи одержання заготовок

Важелі виготовляють з сірого чавуну марок від СЧ12-28 до СЧ24-44, кувального чавуну марок КЧ35-10, КЧ37-12 та інших, сталей звичайної якості марок СТ5 і конструкційних сталей марок 20, 35, 45, 40Х. Важелі, що працюють при незначних навантаженнях, виготовляють з пластмас.

Плоскі вилки перемикання виготовляють з сірого і кувального чавуну і сталей, приблизно тих же марок, які застосовуються при виготовленні важелів.

Шатуни виготовляють з конструкційних, середньовуглецевих і легованих сталей (сталь 40, 45 з НВ 210…255; 45Г2, 18ХНМА, 18Х2НЧВА, 40ХНМА, 18Х2Н4МА, 40ХН2МА з НВ 177…255). В останній час деякі іноземні фірми почали виготовляти шатуни автомобільних двигунів з високоміцного чавуну.

Чавунні заготовки важелів і вилок одержують звичайно литтям у піщані форми, відформовані у більшості на машинах за металевими моделями. За підвищених вимог щодо точності виливок заготовки відливають в оболонкові форми. Виливки з кувального чавуну необхідно піддавати відпаленню і наступній правці для зменшення залишкових деформацій.

Виливки плоских вилок компонують з двох і навіть з трьох деталей.

Для підвищення точності відштампованих заготовок плоских вилок і в деяких випадках важелів у масовому виробництві (великосерійному теж) застосовують калібрування і чеканку.

Калібрування є додатковою штамповкою на штампувальних молотах, фрикційних і кривошипних пресах, що виконується для уникнення зайвої окалини з одного нагрівання відразу ж після обрізання заусениць.

Чеканка – холодне штампування в спеціальних штампах і звичайно на спеціальних чеканочних пресах, яке виконується після термічної обробки (нормалізації, відпалювання чи загартування з відпущенням) заготовок і очищення їх від окалини. Точність відстаней за висотою між поверхнями заготовок після чеканки може бути одержана в межах від ±0,08 мм до ±0,2 мм.

Для зменшення трудомісткості механічної обробки, зменшення витрат металу і поліпшення зовнішнього вигляду складних за конструктивною формою сталевих важелів і вилок їх заготовки замість кування чи штампування одержують литтям по виплавлюваних моделях.

Отвори за кресленням діаметром менше 25 мм в заготовках литтям у піщані форми і штампуванням звичайно не одержують. Литтям по виплавлюваних моделях економічно одержувати отвори менших розмірів.

Заготовки шатунів автомобільних і тракторних двигунів в умовах великосерійного і масового виробництва одержують штампуванням на штампувальних молотах і кривошипних пресах. В масовому виробництві стає економічним попереднє формування заготовки шатунів на кувальних вальцях і остаточне штампування на кривошипних пресах. Застосовується також і поперечно-гвинтовий прокат.

Отвори кривошипної головки звичайно одержують в заготовках з припуском на обробку. Отвори поршневої головки шатуна одержують повністю механічною обробкою або прошивають в заготовках з припуском на обробку (рис. 17.3).

Штамповані заготовки шатунів і кришок автотракторних двигунів часто піддаються калібруванню та чеканці.

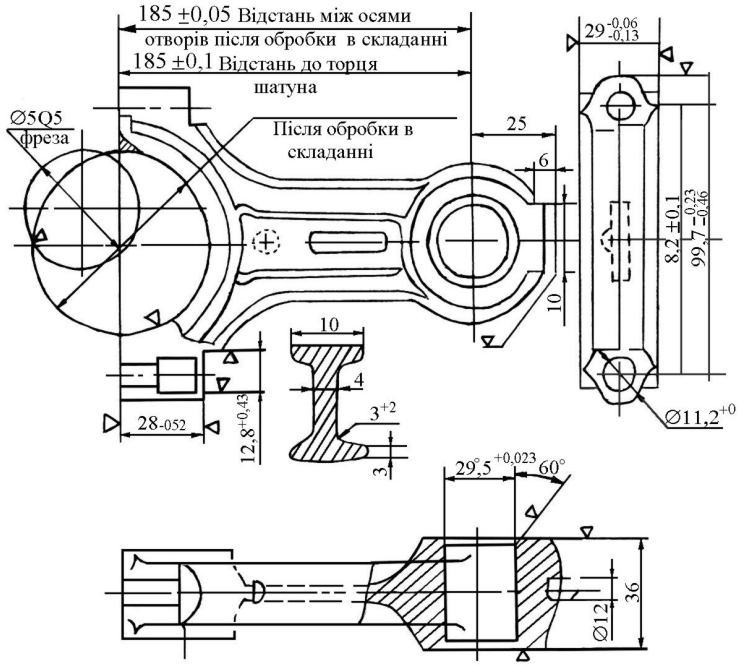


Рис. 17.3. Шатун автомобільного двигуна окремо без кришки

17.4. Схеми базування

Вибір варіанта базування конкретного важеля залежить від задачі, що поставлена технічними умовами.

При обробці плоских бокових сторін або торців бобишок важелів на перший операції за установчу технологічну базу приймають протилежну плоску поверхню стиржня чи з'єднання торців бобишок. Напрямну і опорну бази вибирають з умов зручності встановлення деталі. При обробці гладких отворів – основної та допоміжної баз – важеля з короткими бобиками за установчу технологічну базу приймають також протилежну плоску поверхню стиржня чи з'єднання торців бобишок важеля, а напрямну і опорну технологічні бази вибирають звичайно для забезпечення потрібної співвісності отворів з відповідними бобишками.

Схеми варіантів (I–V) базування заготовки важеля з двома короткими бобишками при обробці в них отворів показані на рис. 17.4.

Варіанти базування важеля з довгою бобишкою показані на рис. 17.5.

В масовому виробництві важелі та шатуни часто базують за необробленими поверхнями, використовуючи для цього пристрої – супутники.

При виготовленні шатунів обробляють торці головок, базуючи заготовку на протилежні торці (це – установча база) і на зовнішню поверхню (це – напрямна і опорна бази). Оброблені торці головок заготовки шатуна служать установчою технологічною базою для наступних операцій, тому торці головок шатуна повинні

лежати в одній площині з допуском приблизно 0,04 мм, що досягається шліфуванням, а в ряді випадків – попереднім фрезеруванням. Аналогічно обробляють і кришки шатунів, якщо вони виготовляються з окремих заготовок.

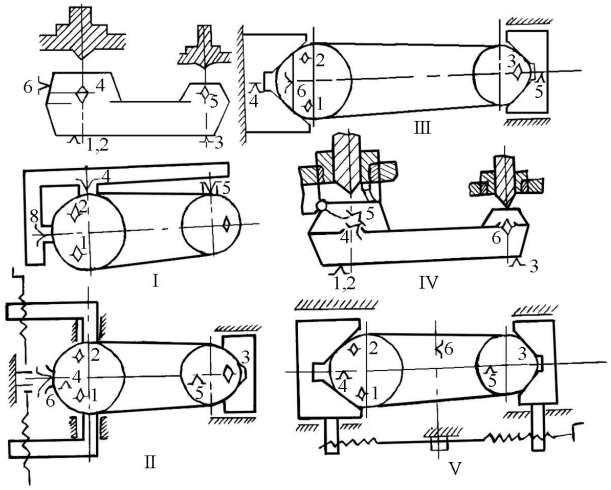


Рис. 17.4. Типові варіанти базування важеля з короткими бобишками при обробці двох отворів

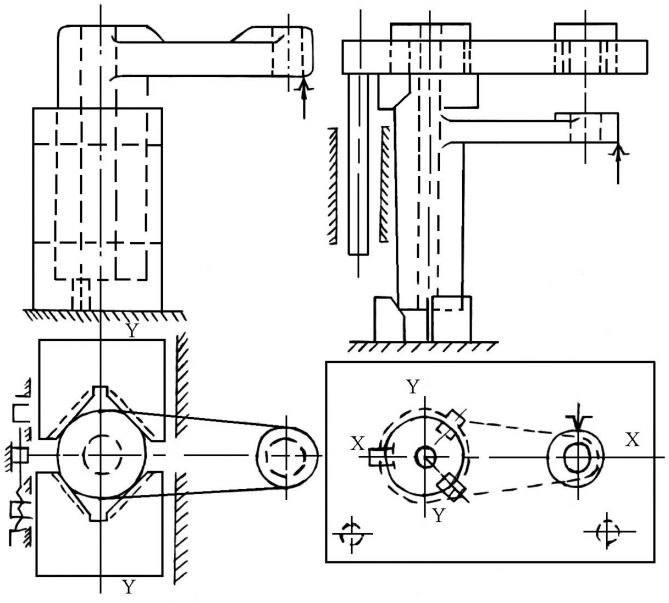


Рис. 17.5. Варіанти базування важеля з довгою бобишкою

Для створення комплекту технологічних баз протягують площадки на вагових бобишках заготовок шатунів і бокових поверхнях поршневої та кривошипної головок, а також опорні площадки під головки болтів і гайок.

17.5. Варіанти побудови типових маршрутів обробки

Маршрут обробки важелів складають за одним з таких варіантів.

1. За наявності у важелів плоских оброблюваних сторін чи торців бобишок в одній площині спочатку обробляють ці поверхні. Потім, приймаючи оброблену площину чи з'єднання бобишок з однієї сторони за установчу технологічну базу, обробляють отвори – основну і допоміжну бази, отримуючи відповідні потрібні зв'язки. На наступних операціях, приймаючи відповідні оброблені поверхні отворів за технологічні бази, створюють потрібні зв'язки решти оброблюваних поверхонь важеля, послідовно обробляючи пази, нарізні та дрібні отвори.

2. При обробці важелів, що мають торці коротких бобишок у різних площинах, спочатку в ряді випадків обробляють гладкі отвори – основну і допоміжну бази і торці бобишок з одного боку. Потім обробляють торці бобишок з другого боку, далі – решту поверхонь у послідовності, вказаній у першому варіанті.

3. Якщо важіль має довгу бобишку, в якій розташовано отвір – основна база, і значно більш короткі бобишки, в яких розташовані отвори – допоміжні бази, то спочатку обробляють поверхню отвору – основну базу, і торець другої бобишки з одного боку. Потім, прийнявши оброблену поверхню отвору за подвійну напрямну технологічну базу, обробляють торець довгої бобишки з другого боку і, якщо потрібно, зовнішню циліндричну поверхню довгої бобишки. Потім для одержання відповідних зв'язків обробляють поверхні отворів – допоміжні бази, і торці коротких бобишок з одного боку, потім – торці бобишок з другого боку. Далі обробляють решту поверхонь у послідовності, вказаній у першому варіанті.

В залежності від конкретних умов послідовність обробки поверхонь важелів може трохи змінюватись у порівнянні з наведеними типовими схемами.

Після створення комплекту технологічних баз шатунів в залежності від їх конструкції послідовність обробки може бути різною. Попередньо обробляють отвір в поршневій головці під втулку. Якщо шатун виготовляють з суцільної заготовки, то в кривошипній головці заготовки попередньо обробляють овальний отвір у вигляді двох напівотворів, міжцентрова відстань між якими перевищує ширину фрези, що використовується для відрізання кришки від шатуна після клейміння.

В окремих заготовках напівотвори під вкладиші в шатуні і кришці протягують окремо у кожній деталі, як і площини стиків.

Виконується операція по обробці стиків і у суцільній заготовці шатуна з кришкою, причому заготовку попередньо протягують або відразу шліфують.

Далі здійснюється свердління, розсвердлювання, зенкерування і зняття фасок в отворах під болти в корінних головках заготовок шатунів і кришок, а також фрезерують пази під замки вкладишів. Цекують опорні площадки під болти в заготовках шатунів і кришок. З'єднують їх по площинах стикання, остаточно разом обробляють отвори під болти і продувають їх. Встановлюють болти і затягують гайки. Попередньо зенкерують або розточують отвори шатунної головки. Остаточно шліфують торці головок і розмагнічують складений шатун. Зенкерують, розточують та знімають фаски в отворі шатунної головки, свердлять мастилопровідний отвір. Виконують чистове розточування отвору в поршневій головці, промивання, продування, контроль та запресовування втулки, ущільнюють її прогладжуванням.

Потім виконують свердління та зенкерування отворів для змащування в поршневій головці. Підганяють масу шатуна. Виконують тонке розточування отворів в обох головках, хонінгування отвору в шатунній головці, клейміння, промивання, контроль та демагнетизацію.

17.6. Методи виконання основних операцій

Всі операції по обробці важелів можна поділити на три групи:

1) обробка плоских поверхонь;

2) обробка основних і допоміжних баз;

3) обробка допоміжних отворів, пазів, шліців тощо.

Обробка плоских поверхонь може здійснюватись струганням (рідко), фрезеруванням (найбільш часто), цекуванням, протягуванням і шліфуванням. Стругання застосовується тільки в умовах одиничного виробництва і здійснюється на поперечно-стругальних верстатах. Фрезерування може здійснюватись на вертикально- і універсально-фрезерних верстатах, фрезерно-карусельних і барабанно-фрезерних верстатах з використанням, як правило, багатомісних пристроїв.

Фрезерування площин бобишок доцільно виконувати одночасно з двох боків на горизонтально-фрезерному верстаті набором фрез зі встановленням заготовки в пристрій (рис. 17.6). Для підвищення продуктивності на столі верстата встановлюють два пристрої 1 і 2 і обробку виконують з маятниковою подачею. Часто ці пристрої встановлюють на поворотному столі 1. Встановлення заготовки в пристрій виконують під час обробки заготовки на другому пристрої (рис. 17.7). В серійному виробництві для обробки бобишок часто використовують цековки. Обробку в цьому випадку ведуть в такій послідовності: свердління отвору з одного боку з цекуванням бобишки комбінованим свердлом – цековкою в кінці робочого ходу, потім цекування бобишки з другого боку після перевстановлення важеля. Протягування плоских поверхонь і пазів здійснюють у великосерійному і масовому виробництвах, використовуючи для цього вертикально- або горизонтально-протяжні верстати. Шліфування плоских поверхонь здійснюють при наявності точно оброблених заготовок, одержаних калібруванням і чеканкою.

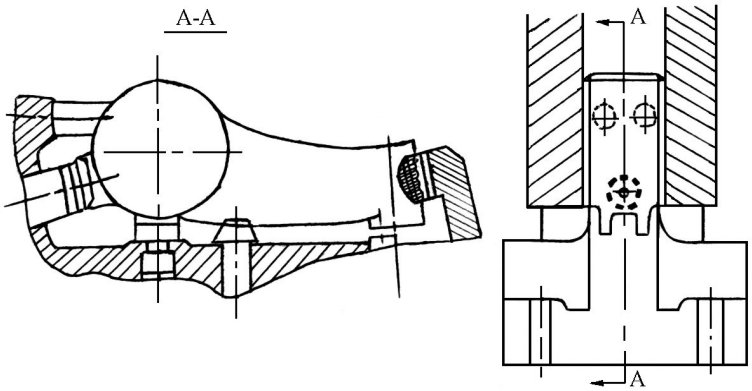


Рис. 17.6. Фрезерування бобишок набором фрез

Всі отвори, як основні, так і допоміжні, в одиничному виробництві одержують на свердлильних верстатах за розміткою з використанням швидкозмінних патронів. Можливі варіанти обробки основних отворів на токарних і розточувальних верстатах з вивіренням за розміткою. В серійному виробництві отвори обробляють на свердлильних верстатах з використанням багатомісних пристроїв і

багатошпиндельних свердлильних головок і кондукторів. У великосерійному і масовому виробництві для цієї цілі використовують багатошпиндельні багатопозиційні агрегатні верстати.

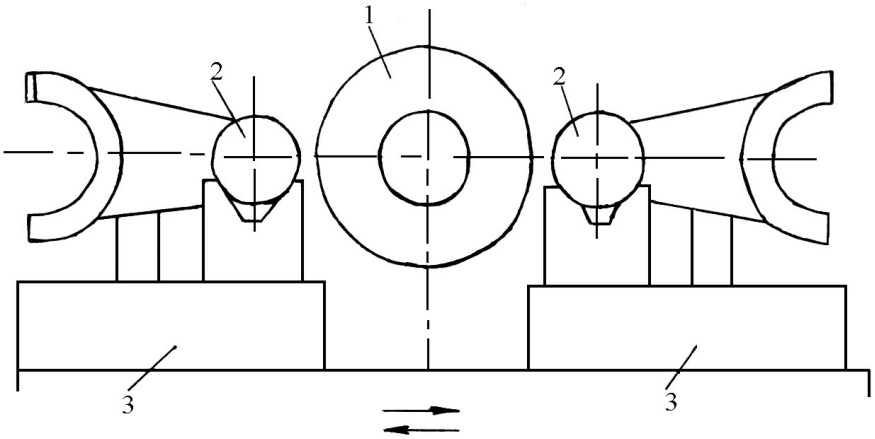


Рис. 17.7. Фрезерування бобишок у двомісних пристроях:
1 – фреза; 2 – заготовки; 3 – пристрої

Основні отвори обробляють за маршрутом: свердління, зенкерування, одне- або дворазове розвертання. Застосовують також маршрут: свердління, протягування або прошивання. За наявності отворів діаметром більше 30 мм заготовки одержують з прошитими або пролитими отворами. В цьому випадку маршрут включає замість свердління попереднє розточування чи зенкерування, а чистове зенкерування замінюється чистовим розточуванням.

Найбільшу точність за паралельністю осей отворів досягають при одночасній обробці на багатошпиндельних верстатах. Меншу точність одержують при послідовній обробці, але при одному закріпленні заготовки (з переміщенням стола розточувального верстата). Ще меншу точність за паралельністю одержують при обробці заготовок на різних верстатах і в різних пристроях. Тому з одного встановлення намагаються обробити найбільш можливу кількість поверхонь отворів і торців. Для цього роботу виконують з переміщенням стола в поперечному напрямку і поворотом його на потрібні кути. Точність отворів досягають застосуванням мірного різального інструмента методом індивідуального одержання розмірів. Міжосьові відстані забезпечуються координатним методом розточування.

Контроль важелів в масовому і великосерійному виробництвах здійснюють за допомогою спеціальних контрольних пристроїв, а у решти виробництвах – за допомогою універсальних засобів.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які деталі відносяться до деталей типу “важелів”? Їх службове призначення.
2. Назвіть основні та допоміжні бази, а також виконавчі поверхні важелів, вимоги щодо їх взаємного розташування.
3. Які типи вилок існують? Сформулюйте особливості їх службового

призначення.

4. Сформулюйте особливості службового призначення шатунів.

5. Сформулюйте типові технічні вимоги для важелів та вилок.

6. Сформулюйте типові технічні вимоги до шатунів.

7. Які матеріали та види заготовок застосовуються для важелів та вилок?

8. Які матеріали та види заготовок застосовуються для шатунів?

9. Накресліть схеми базування важелів для забезпечення перпендикулярності отворів до торців бобишок та забезпечення збігання їх осей із загальною площиною симетрії.

10. Накресліть схеми базування шатунів на першій та решти операціях.

11. Складіть маршрут обробки важелів за:

а) наявності торців бобишок в одній площині;

б) наявності коротких торців бобишок у різних площинах;

в) наявності довгої бобишки і значно більш коротких в різних площинах.

12. Складіть типовий маршрут обробки шатуна.

13. Які застосовуються методи обробки плоских поверхонь важелів?

14. Які застосовуються методи обробки основних та допоміжних отворів?

15. Якими технологічними методами досягається паралельність осей отворів при обробці важелів?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Руденко П.А. Раздел 3. Технология изготовления машин: Конспект лекцій. – Чернишов, 1986. – 159 с.

2. Технология машиностроения (специальная часть) / Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колесов И.М. и др. – М М., 1986. – 480 с.

3. Якимов О.В., Гусарев В.С., Якимов О.О., Линчевский П.А. Технологія автоматизованого машинобудування. – К., 1994. – 400 с.

Тема 18. Технологія виготовлення валів

18.1. Технологія виготовлення ступінчастих валів

18.1.1. Службове призначення, конструктивні різновиди і технічні умови на виготовлення

До деталей цього класу відносять вали, осі тяги, циліндричні стиржні типу пальців і тощо.

Вали призначені для передачі крутного моменту і працюють на кручення та згинання.

Осі є круглими балками, що працюють на згинання.

Тяги призначені для передачі осьових зусиль і працюють на розтягування, стискання та поздовжнє згинання.

Найбільш питому вагу серед деталей цього класу мають вали. Основними конструктивними різновидами валів є вали гладкі, ступінчасті та фланцеві. Найбільш поширені ступінчасті вали. Вони виконуються з потовщеною частиною посередині або з одного кінця. Фланцеві вали зустрічаються переважно у важкому машинобудуванні (гідротурбобудуванні). Вони звичайно виконуються порожнистими.

Довжина валів – від декількох десятків міліметрів до декількох метрів.

Найбільш поширені в машинобудуванні різні ступінчасті вали середніх розмірів, серед яких переважають гладкі вали. За даними ЭНИМСА, понад 85 % від загальної кількості типорозмірів ступінчастих валів у машинобудуванні складають вали довжиною 150–1000 мм.

Шийки ступінчастих валів можуть мати шпонкові пази, шліци чи різь. При переході від одного східця до другого передбачаються канавки чи галтелі. Обробка галтелей більш складна, тому у всіх випадках, коли це допустимо, необхідно передбачати канавки. На торцях вала доцільно мати фаски. Вали, довжина яких не перевищує 15-кратної величини діаметра ($l \le 15d$), вважають жорсткими, при $l \ge 15d$ вали вважаються нежорсткими.

Технічні умови виготовлення валів характеризуються такими даними. Діаметри посадочних шийок обробляються за 7–9 квалітетами, в окремих випадках – за 5 квалітетом точності.

Овальність та конусність шийок валів повинні знаходитись в межах допусків на їх діаметри. Биття посадочних шийок відносно базуючих (подвоєний ексцентриситет) не повинно перевищувати 10–30 мкм. Осьове биття упорних торців чи уступів не повинно бути більше 0,01 мм на найбільшому радіусі. Відхилення від паралельності шпонкових канавок чи шліців осі вала не повинно перевищувати 0,1 мкм на 1 мм довжини. Допуски на довжину східців – 50–200 мкм. Допустима викривленість осі вала – 0,03–0,05 мм/м. Шорсткість посадочних шийок R_a = 1,25–0,08 мкм, а торців і уступів – 4–2,5 мкм.

18.1.2. Матеріали і способи одержання заготовок

Вали в основному виготовляють з конструкційних і легованих сталей, до яких висуваються вимоги високої міцності, хорошої оброблюваності, малої чутливості до концентрації напружень, а також для підвищення зносостійкості – спроможності піддаватись термічній обробці. Переліченим вимогам найбільш повно відповідають сталі марок 35, 40, 45, 40Г, 50Г, 40Х.

Застосування легованих сталей у порівнянні з конструкційними трохи обмежене із-за більш високої їх вартості, а також підвищеної чутливості до концентрації напружень.

В умовах масового і великосерійного виробництва заготовки валів штампуються у закритих штампах на молотах або пресах з наступним обрізанням облою. Заготовки ступінчастих валів виконують також на ротаційно-кувальних машинах і поперечно-гвинтовою прокаткою (рис. 18.1), а заготовки з однобічним потовщенням – на горизонтально-кувальних машинах і методом електровисадки.

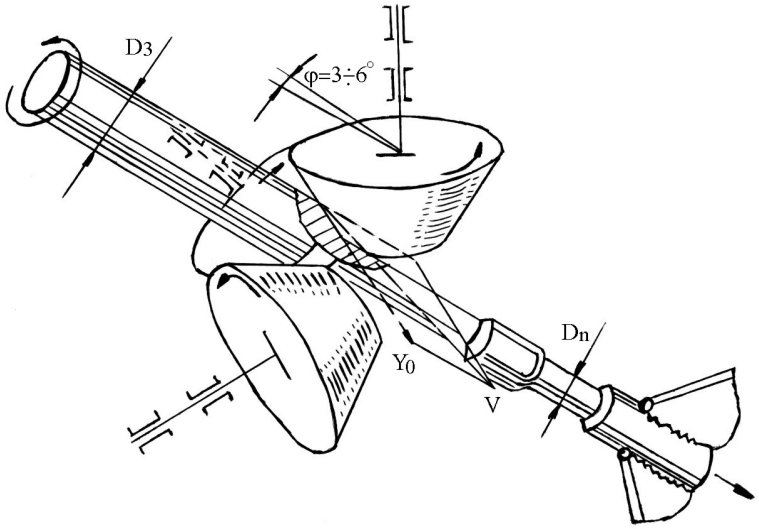


Рис. 18.1. Схема поздовжньо-гвинтової прокатки вздовж змінного перерізу по довжині на тривалкових станах

Для ступінчастих валів з невеликим перепадом діаметрів східців застосовують також гарячекатаний прокат.

Вибір методу одержання заготовки виконують, порівнюючи сумарні собівартості процесів одержання заготовки і механічної обробки варіантів, що порівнюються. Для гладких валів застосовують переважно калібрований прокат.

В умовах одиничного і дрібносерійного виробництва заготовки валів виконують вільним куванням (у дрібносерійному виробництві нерідко із застосуванням підкладних штампів) чи використовують гарячекатаний прокат.

Вихідним матеріалом для кованих заготовок є круглий прокат.

Заготовки великих валів одержують вільним куванням з виливка або

електрошлаковим зварюванням з попередньо підготовлених елементів.

У зв'язку з тим, що кривизна прокату і поковок досягає в ряді випадків 5 мкм на 1 мм довжини вала, виникає необхідність у правці заготовок з метою зменшення припусків на механічну обробку. Правкою зменшують кривизну заготовок до 0,5–1 мкм/мм.

18.1.3. Способи базування

Найбільш поширеними схемами базування є базування по центрових отворах (рис. 18.2, *а*), базування по циліндричних шийках (рис. 18.2, *б*) і консольне базування по діаметру прутка (рис. 18.2, *в*). Для нежорстких валів застосовують додаткові опори, що матеріалізуються сухариками рухомих чи нерухомих люнетів.

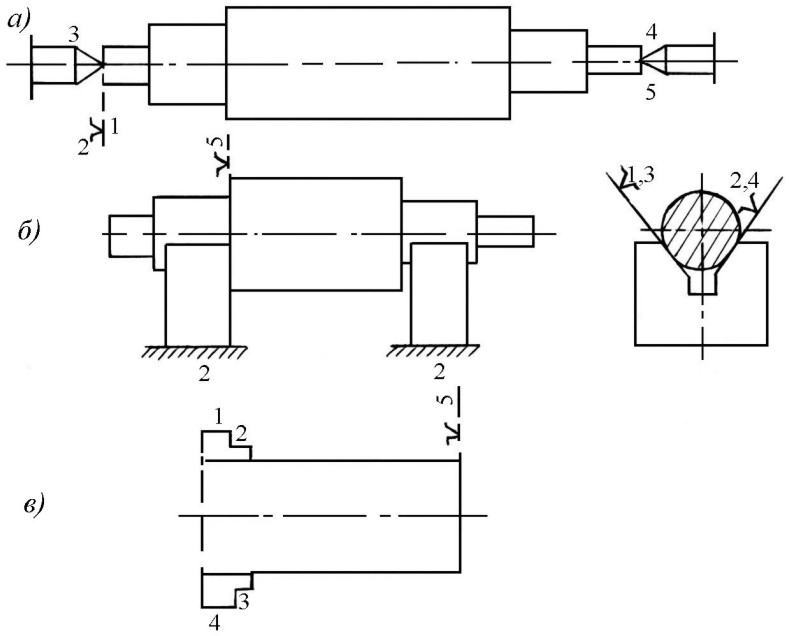


Рис. 18.2. Схеми базування валів

18.1.4. Типові технологічні маршрути

При однобічному розташуванні східців і довжині вала до 120 мм обробку проводять на пруткових револьверних верстатах або автоматах, виконуючи до відрізання всі чорнові та чистові переходи.

На рис. 18.3 показане налагодження револьверного верстата для обробки вала з каліброваного прутка. Обточування кінця вала під різь здійснюється за допомогою люнетної державки, що зменшує вібрацію та відтискання прутка при обробці.

Штамповані та нарізані з прутка заготовки для ступінчастих валів довжиною

L > 120 мм обробляють звичайно в центрах за таким маршрутом:

1. Почергове чи одночасне фрезерування торців заготовок.
2. Зацентровування заготовок з двох боків.
3. Попереднє обточування заготовки (звичайно з двох встановлень).
4. Чистове обточування.
5. Попереднє шліфування шийок.
6. Фрезерування шпонкових пазів чи шліців.
7. Свердління отворів (якщо передбачено кресленням).
8. Нарізання різей.
9. Термічна обробка (якщо потрібна).
10. Остаточне шліфування шийок.

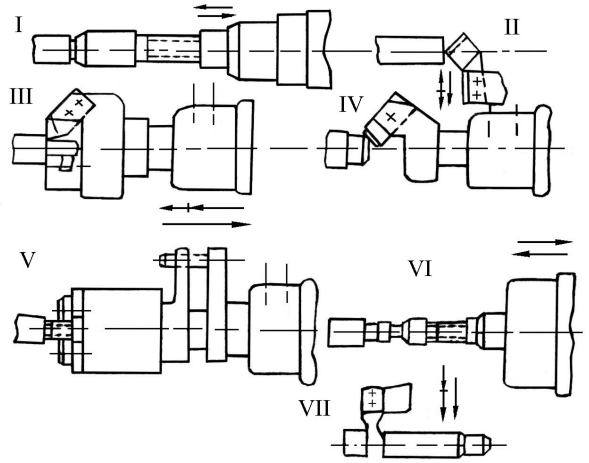


Рис. 18.3. Схема обробки вала на токарно-револьверному верстаті: I – подача до упора; II – підрізання торця; III – обточування кінця під різь; IV – зняття фаски; V – нарізання різі; VI – відкріплення, подача до упора і закріплення прутка; VII – відкріплення

Маршрут обробки нежорстких валів ускладнюється введенням додаткових операцій проточування та шліфування шийки під люнет (до токарної обробки), а також введенням декількох операцій проміжної правки (якщо вона допускається технічними умовами).

Похибки заготовки закономірно зменшуються при кожному технологічному переході механічної обробки, тому число технологічних переходів для обробки кожної елементарної поверхні визначається точністю виконання заготовки і вимогами, що висуваються до готової деталі.

Биття посадочних шийок відносно базуючих усувають обробкою їх з одного встановлення заготовки. За бази при виконанні більшості операцій приймають центрові пробки або конічні фаски отвору.

Для забезпечення паралельності шпонкових пазів чи шліців осі вала обробка їх повинна здійснюватись зі встановленням на центри, обробка – зі встановленням в призмах чи центруючих втулках може бути прийнята за умови точної обробки базуючих шийок відносно центруючих гнізд.

Задача витримування жорстких допусків по довжині східців при способі автоматичного одержання розмірів розв'язується паралельним підрізанням торців на попередньо налагоджених верстатах і встановленням заготовки на плаваючий центр, якщо заданий жорсткий допуск на довжину східця від лівого торця.

18.1.5. Методи виконання окремих операцій

В умовах одиничного виробництва зацентрування вала і вся наступна токарна обробка складає одну токарну операцію, що виконується за декілька встановлень та великої кількості переходів.

В умовах серійного і масового виробництва ця робота розбивається на ряд операцій, які звичайно виконуються на різних верстатах різними виконавцями.

Операції фрезерування та зацентровування торців виконується за двома варіантами:

1) для валів більш великих розмірів застосовуються фрезерно-центрувальні напівавтомати МР-71 та МР-73, які обробляють заготовки діаметром до 125 мм і довжиною до 500 мм, і фрезерно-центрувальні напівавтомати барабанного типу МР-78, що призначені для заготовок діаметром до 60 мм і довжиною до 825 мм;

2) для валів діаметром до 50 мм і довжиною до 525 мм фрезерування торців здійснюється на двобічних торце-фрезерних автоматах А981М, а центрування – на двобічному центрувальному автоматі А982М.

Обидва ці верстати можуть встроюватись в автоматичну лінію.

В серійному і дрібносерійному виробництвах розглянуті операції виконуються на фрезерно-центрувальних верстатах ФЦ-1 та ФЦ-2 (рис. 18.4). Виконується також роздільне фрезерування торців на горизонтально- чи поздовжньо-фрезерних верстатах, а центрування – на дво- або однобічних верстатах.

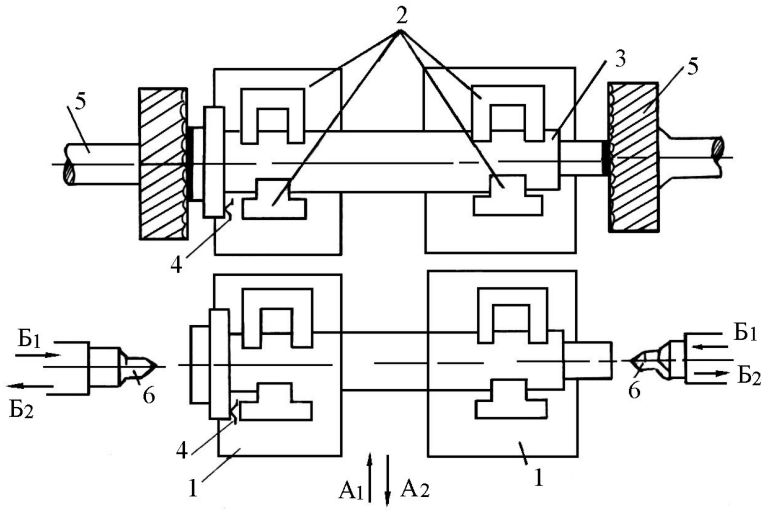


Рис. 18.4. Схема фрезерування торців і зацентровування на фрезерно-центрувальному верстаті: 1 – супорти; 2 – затискні призми; 3 – оброблювана заготовка; 4 – упор; 5 – фрези; 6 – свердла

Торці валів піддаються однопрохідній обробці. При цьому забезпечується точність та шорсткість поверхні, які передбачені технічними умовами.

На рис. 18.5 показана типова для серійного виробництва схема обробки торців на горизонтально-фрезерному верстаті з перекладанням заготовок.

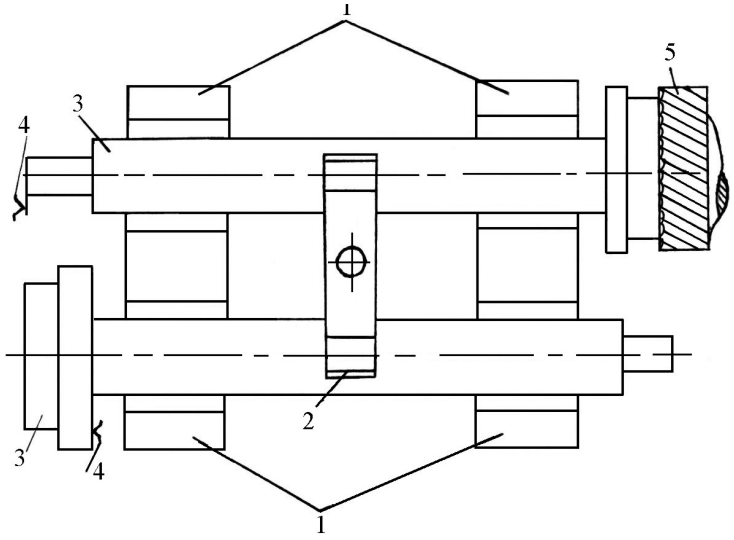


Рис. 18.5. Схема фрезерування торців двох заготовок на горизонтально-фрезерному верстаті: 1 – установчі призми; 2 – затискна планка; 3 – оброблювані заготовки; 4 – упори; 5 – фреза

Чорнове і чистове обточування валів виконується в масовому і великосерійному виробництвах на токарних багатошпиндельних вертикальних напівавтоматах мод 1282, 1А283 тощо, на одношпиндельних багаторізцевих напівавтоматах мод. 1711, 1721, 1А730, А983, А984М (останні дві моделі вбудовуються в автоматичні лінії), а також на токарних гідрокопіювальних напівавтоматах мод. 1712, 1722 та ін.

В серійному і дрібносерійному виробництвах застосовуються токарні гідрокопіювальні напівавтомати, токарні верстати, що обладнані гідрокопіювальними супортами, а також токарні верстати звичайного типу.

Багатошпиндельні вертикальні напівавтомати внаслідок їх високої вартості та складності налагодження знаходять застосування тільки в масовому і великосерійному виробництвах. На рис. 18.6 показана схема налагодження для обробки ступінчастого вала на шестишпиндельному вертикальному токарному напівавтоматі безперервної дії за двоцикловою схемою.

При багаторізцевій обробці на вертикальних багатошпиндельних напівавтоматах послідовної дії в результаті обробки поверхонь за декілька переходів досягається 8-й квалітет точності, на напівавтоматах паралельної (безперервної) дії в результаті одноперехідної обробки кожної поверхні одержують 10-й квалітет точності.

При обробці на багатошпиндельних багаторізцевих напівавтоматах при попередньому обточуванні звичайно одержують 10–12 квалітети, а при чистовому точинні 9–1 квалітет точінні, розміри за довжиною одержують також за 9–12 квалітетами.

Багаторізцеве обточування в будь-якому варіанті має переваги за затратами основного часу в порівнянні з обточуванням на звичайних токарних верстатах.

Найбільш ефективна побудова операцій багаторізцевого обточування за методом поділу довжини обробки. При цьому кожна шийка вала обробляється за один прохід і основний час визначається по різцю, що обробляє найбільш довгу ділянку вала. На рис. 18.7 як приклад показане налагодження для обробки ступінчастого вала на багаторізцевому напівавтоматі.

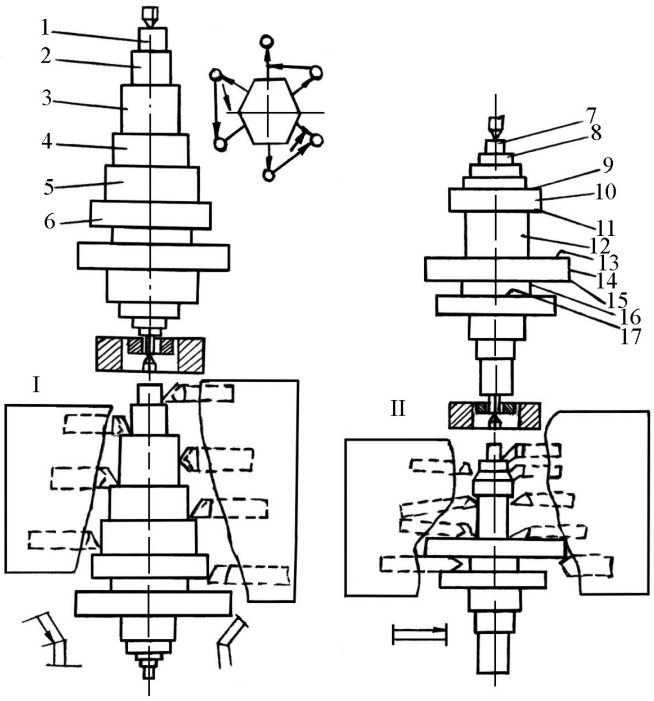


Рис. 18.6. Схеми обробки вала на вертикальному багатошпиндельному напівавтоматі безперервної дії: 1–17 – оброблювані поверхні на попередній та чистовій обробці

В умовах дрібносерійного виробництва дуже поширений спосіб обробки валів на звичайних токарних верстатах, які мають копіювальні пристосування, зокрема, гідросупорти КСТ-1. На рис. 18.8 показана схема такої обробки.

При проточуванні канавок і підрізанні торців окремих східців відповідні різці встановлюють на передньому поворотному різцетримачі токарного верстата. В цьому випадку канавки проточують вручну канавочним різцем верхнього супорта, повернутим на 90º. При обробці багатоступінчастих валів, у яких частина східців збігається за розмірами, для скорочення налагодження доцільно застосовувати комбіновані циліндричні поворотні копіри зі спеціальним налагодженням на ті східці лівого боку вала, розміри яких відрізняються від розмірів східців правого боку вала.

Точність обробки за допомогою копіювальних пристосувань знаходиться в межах 9-го квалітета. Економічність токарної обробки при застосуванні гідросупортів визначається конфігурацією оброблюваних деталей, вимогами точності та кількістю деталей в партії. Застосування гідросупорта тим доцільніше, чим більше

східців у вала і чим складніша його конфігурація.

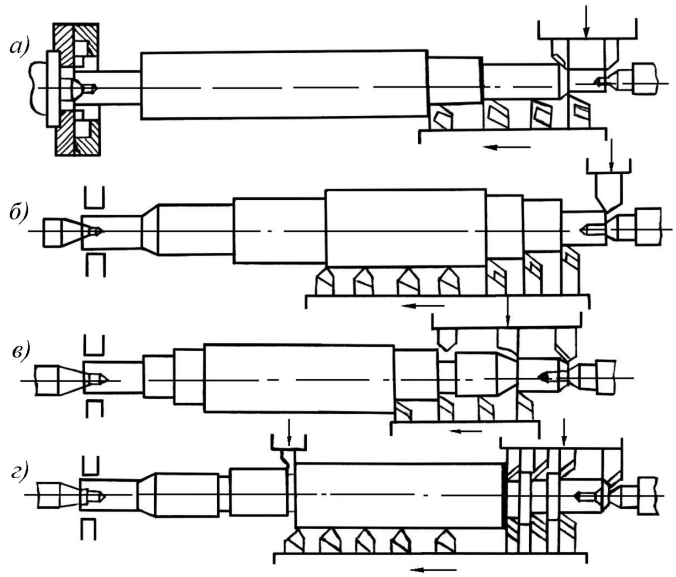


Рис. 18.7. Схеми обробки вала на багаторізцевому напівавтоматі: а – чорнове обточування одного кінця; б – чорнове обточування другого кінця; в, г – чистове обточування кінців вала в тій же послідовності

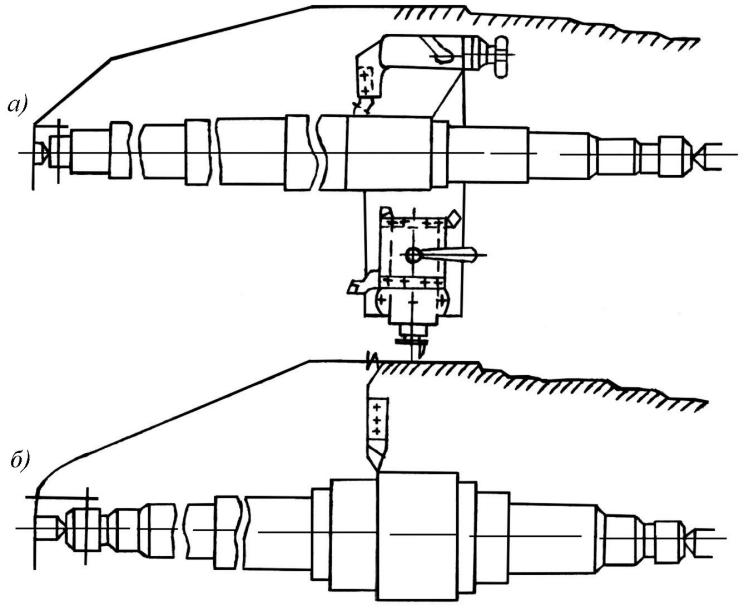


Рис. 18.8. Схема налагодження токарного верстата з гідросупортом: а – перше встановлення; б – друга установка

На рис. 18.9 показана залежність оптимальної партії з M деталей від кількості східців Z на деталі, при якій економічне застосування гідросупорта. Область 1 вище кривої є областю економічно доцільного застосування гідросупорта, 2 – область звичайного токарного способу обробки.

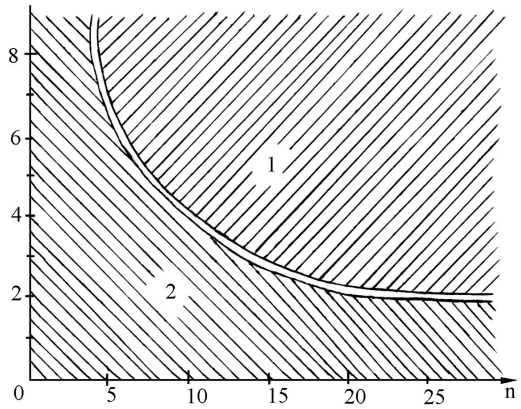


Рис. 18.9. Залежність оптимальної партії деталей Z від кількості циліндричних

В умовах серійного і масового виробництва копіювальна обробка валів здійснюється на спеціальних гідрокопіювальних верстатах, обладнаних двома супортами: копіювальним – для обточування циліндричних і конічних шийок вала, і поперечним – для підрізання торців, зняття фасок і проточування канавок (рис. 18.10).

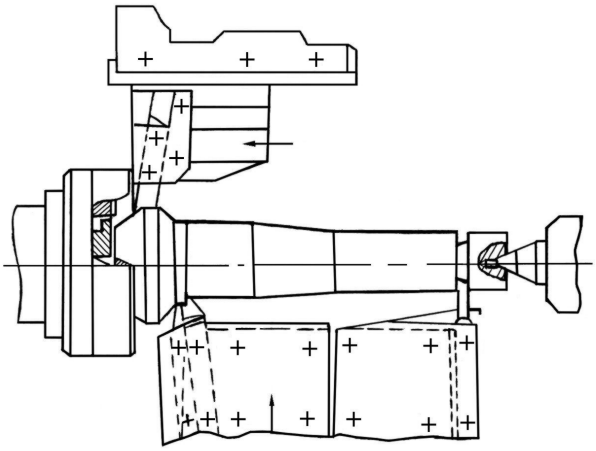


Рис. 18.10. Схема обробки заготовки ведучого зубчатого колеса на гідрокопіювальному напівавтоматі

Сучасні конструкції гідрокопіювальних верстатів (мод. 1722, 1712) оснащені копірними барабанами (рис. 18.11) для встановлення декількох плоских копірів. За допомогою таких верстатів можна здійснювати 4 технологічних переходи (по 2 з кожного боку: чорновий і чистовий).

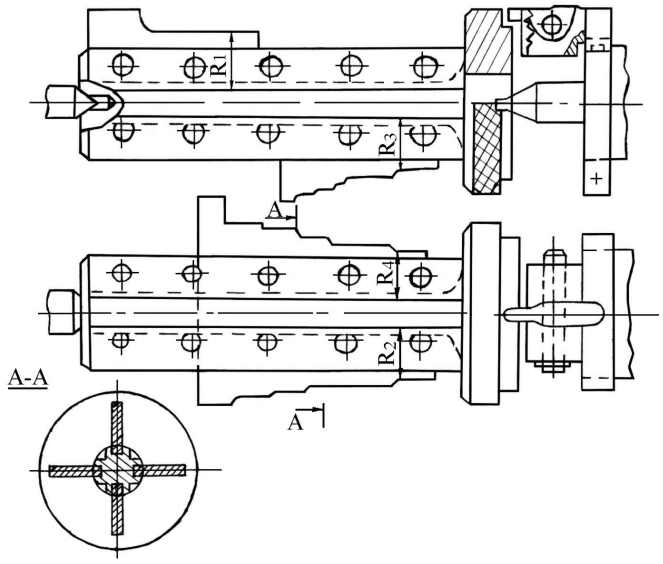


Рис. 18.11. Копіювальний барабан для встановлення декількох плоских копірів

Однопрохідна копіювальна і однопрохідна багаторізцева обробка жорстких валів забезпечує точність 8–10 квалітету.

Сучасні токарно-копіювальні верстати в 1,5–2 рази продуктивніші універсальних токарних.

На токарно-копіювальних верстатах найновіших моделей можна виконувати чорнову обробку багаторізцевим супортом, а чистове обточування – однорізцевим копіювальним супортом.

В дрібносерійному виробництві економічно доцільним може виявитись застосування при обробці ступінчастих валів універсальних токарних верстатів з ЧПК типу 1К62ПУ. Залишаючись, як і раніше, універсальними, такі верстати допускають обробку за автоматичним циклом, що полегшує багатоверстатне обслуговування, допускає швидке і просте переналагодження при обточуванні ступінчастих валів різних розмірів за заздалегідь розробленою програмою.

Фрезерування шпонкових пазів виконується на шпонково-фрезерних верстатах (692А) торцевою фрезою або на горизонтально-фрезерних верстатах дисковою фрезою в залежності від конструкції паза. Вал встановлюється на центри або шийками на призми, що вивірені на паралельність напрямку руху подачі.

Шліцьові поверхні на валах обробляються на шліцефрезерних верстатах (5350, 5603, 5618А) черв'ячною фрезою зі встановленням на жорстких центрах. За умовами продуктивності доцільно на шийках валів діаметром до 60–80 мм фрезерувати шліци за один прохід, при більших розмірах фрезерування поділяють на попереднє і чистове. Обробку шліцьових поверхонь виконують за дві операції незалежно від розміру в тому випадку, коли вал проходить термічну обробку з незначним підвищенням твердості (HRC < 40). В цьому випадку попереднє нарізання робиться до термічної обробки, при чистовому нарізанні після термічної обробки усувають

просторові похибки, що виникли, і забезпечують потрібну точність і шорсткість поверхні без шліфування.

Перспективний процес накатування шліців. Цей метод високопродуктивний і поліпшує фізико-механічні властивості металу.

Свердління отворів виконується на одно- чи багатошпиндельних свердлильних верстатах. Тип верстата і схема встановлення залежить від конструкції вала і розташування отворів. Створення різі на шийках, що загартовуються до термічної обробки, а на тих, що не загартовуються, після остаточного шліфування шийок вала. Цим зменшується небезпека псування різі при транспортуванні заготовок.

Метод формування різі залежить від її класу точності. Для валів з різзю 2-го класу точності в масовому і великосерійному виробництвах застосовуються різетокарні напівавтомати 1920 і 1921. Нарізання різі здійснюється твердосплавним інструментом за автоматичним циклом. В цих типах виробництва для створення нарізки 3-го і 4-го класів точності застосовуються різенакатні (5А932 і 5А935) і різефрезерні (5М5Б62) верстати.

В серійному і дрібносерійному виробництвах різі 2-го класу точності одержують на токарно-гвинторізних верстатах звичайним чи вихровим методом. Різі 3-го і 4-го класів точності нарізаються на універсальних токарних, а в окремих випадках на болторізальних верстатах.

Термічна обробка найчастіше виконується у вигляді поверхневого загартування шийок з нагріванням в індукторі струмами високої частоти. Рідше зустрічається цементація з наступним загартуванням шийок чи загальне загартування вала.

Для шліфування шийок вала використовують дві операції: попередню і чистову. Вали шліфуються на круглошліфувальних верстатах методом поздовжньої подачі (на прохід) чи поперечним врізанням зі встановленням заготовки в центрах. Ступінчасті вали шліфуються також на безцентрово-шліфувальних верстатах.

Шліфування з поперечною подачею відрізняється високою продуктивністю, особливо при обробці набором кругів, коли одночасно шліфується декілька шийок вала. Врізне шліфування широким профільним кругом застосовують для одночасної обробки декількох близько розташованих поверхонь. При цьому загальна ширина круга звичайно не перевищує 250 мм.

Одночасне шліфування шийки і торця виконують на торцешліфувальних верстатах мод. 3Т161 та інших з нахилом круга.

Для підвищення продуктивності праці на шліфувальних операціях передбачають активний контроль розмірів.

Безцентрове шліфування здійснюється з наскрізною подачею (на прохід) чи з поперечною подачею (врізанням). Жорсткість технологічної системи при безцентровому шліфуванні в 1,5–2 рази вища жорсткості системи при круглому шліфуванні. Тому при безцентровому шліфуванні режими різання підвищуються в 1,5–2 рази, і полегшується задача обробки нежорстких валів.

Проте при шліфуванні на центрах можна одержати більш круглі шийки і більшу співвісність східців вала. Безцентрові верстати легко автоматизуються і встроюються в автоматичні лінії.

Шліфування шліців виконується в тому випадку, якщо центрування вала із втулкою здійснюється по їх дну боковими сторонами. При шліфуванні шліців забезпечується їх симетричність, потрібний радіус дна і паралельність осі вала.

Шліфування шліців профільним кругом чи набором кругів виконується на шліцешліфувальних верстатах.

18.2. Технологія виготовлення колінчастих валів

18.2.1. Службове призначення, конструктивні різновиди і технічні умови

Колінчастий вал служить для перетворення зворотно-поступального руху в обертовий і є однією з найбільш відповідальних деталей двигуна. В процесі експлуатації колінчастий вал піддається крученню та згинанню. Сили, що деформують вал, мають пульсуючий змінний характер. Тому до колінчастих валів висуваються підвищені вимоги як за міцністю, так і за точністю виготовлення.

Основними елементами колінчастого вала двигуна є корінні шийки 6 (рис. 18.12), які представляють собою опори вала, шатунні шийки 1, які служать для закріплення на них нижніх головок шатунів, щоки 2, призначені для з'єднання корінних і шатунних шийок в єдине ціле.

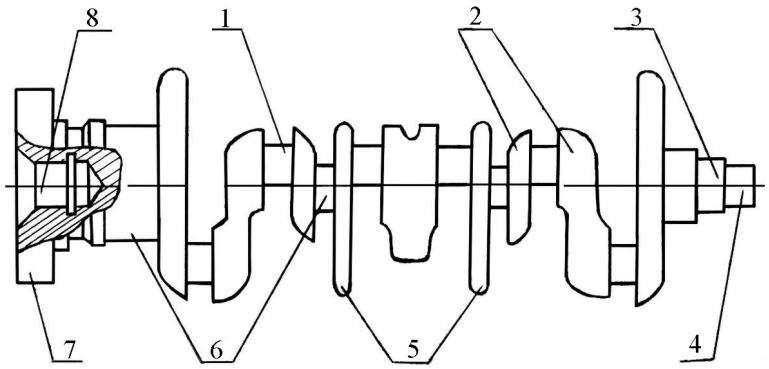


Рис. 18.12. Колінчатий вал автомобільного двигуна:
1 – шатунні шийки; 2 – щоки; 3 – шийка під шестерню механізму газо-розподілу; 4 – шийка під шків вентилятора; 5 – противаги; 6 – корінні шийки; 7 – фланець; 8 – гніздо під підшипник вала муфти зчеплення

За кількістю корінних шийок колінчасті вали поділяються на дво-, три- п'яти- і більше опорні.

На передній шийці колінчастих валів двигунів зроблені пази під сегментні шпонки для встановлення шестерні механізму газорозподілу і шківа вентилятора. Задній кінець колінчастого вала виконують з фланцем чи без нього. Між фланцем і задньою шийкою розташовують мастилозгонні канавки.

За конструкцією колінчасті вали можуть бути суцільними і складеними з противагами, що закріплюються. Кривошипи колінчастих валів розташовують під кутом 180º, рідше під 90º.

Розміри колінчастих валів автотракторних двигунів:

– довжина вала – 550–1200 мм;

– діаметр корінних шийок – 50–95 мм;

– діаметр шатунних шийок – 45–90 мм;

– радіус кривошипа – 36,5–102,5 мм;

– діаметр фланця – 117–190 мм.

Корінні та шатунні шийки повинні бути оброблені за 5–7 квалітетами точності при шорсткості R_a = 0,08–0,32 мкм, овальність, конусність та ввігнутість повинні знаходитись в межах 0,005–0,01 мм.

Непаралельність осей шатунних шийок і крайніх корінних не повинна перевищувати 0,01–0,03 мм по всій довжині шийки. Шийку переднього кінця необхідно обробляти за 7-м квалітетом точності. Шорсткість поверхонь цих шийок повинна відповідати R_a = 0,32–1,25 мкм.

Неплощинність торця фланця, до якого прикріплюється махових, повинна бути не більше 0,04–0,1 мм, а биття на довжині його радіуса – 0,03–0,05 мм.

Колінчасті вали піддаються динамічному балансуванню. Допустима динамічна неврівноваженість колінчастих валів – 15–30 г. см.

На деякі типи колінчастих валів існують державні стандарти на технічні умови. Кількість цих умов досягає цифри 90. Така велика кількість ТУ висуває підвищені вимоги до технології їх виготовлення. Крім того, при обробці колінчастих валів застосовуються деякі специфічні технологічні операції, притаманні тільки деталям цього класу. Тому знайомство з ними для інженера-технолога є край необхідним.

18.2.2. Матеріал і способи одержання заготовок

Матеріли колінчастих валів повинні мати високі механічні та пластичні властивості, високу зносостійкість та циклічну в'язкість.

Колінчасті вали автотракторних двигунів виготовляють з вуглецевих і легованих сталей або з високоміцних чавунів, модифікованих магнієм, з нікелемолібденових чавунів тощо. Виливані вали, звичайно порожнисті, мають трохи збільшені діаметри корінних і шатунних шийок, більші товщину щік і радіуси галтелі. Виливані вали мають меншу міцність при згинанні, ніж ковані.

Більшість колінчастих валів виготовляють зі сталей марок 45, 45Х, 45Г2, 50Г. Колінчасті вали дизелів, що працюють в умовах високих навантажень, виготовляють зі сталей марок 18ХНМА, 18ХНВА, 40ХНМА.

Заготовки валів, що виготовляються зі сталей, штампують. Потім піддають термічній обробці (відпалюванню та нормалізації), при якій знімаються внутрішні напруження в металі і нормалізується його твердість (НВ 177–255), що полегшує обробку заготовок на металорізальних верстатах.

Після попередньої обробки на металорізальних верстатах поверхні корінних і шатунних шийок сталевих валів повторно піддаються термічній обробці (загартуванню та відпущенню). Загартування виконується струмами високої частоти на спеціальних агрегатах, а низькотемпературне відпущення, що здійснюється для зняття напруги, – в спеціальних печах конвеєрного типу. Повторна термічна обробка поліпшує механічні властивості сталі, підвищує поверхневу твердість та зносостійкість шийок.

Після загартування та відпущення поверхнева твердість шийок у валів, виготовлених зі сталей марок 45, 50Г, 40ХНМ, 18ХНВА, коливається в межах HRC 52–62. Глибина загартованого шару повинна бути не менше 3–6,5 мм, а твердість шийок на глибині загартованого шару – HRC 45.

Чавунні виливані колінчасті вали автотракторних двигунів за деякими показниками перевищують сталеві штамповані вали. Спеціальні чавуни, з яких

виливають колінчасті вали, відрізняються від звичайних кувальних чавунів наявністю хрому (0,2–0,25 %), підвищеним вмістом марганцю (1,15–1,4 %), низьким вмістом сірки (0,002–0,014 %), наявністю церію та інших легуючих компонентів.

Для колінчастих валів застосовують також сірі чавуни, модифіковані сплавом фероцерію з магнієм.

Маса виливаних колінчастих валів на 10–15 % менша, ніж штампованих. Припуски на механічну обробку у виливаних заготовок значно менші, ніж у штампованих заготовок.

Заготовки сталевих колінчастих валів виготовляють в серійному виробництві штампуванням на молотах, а в масовому – на кувальних пресах.

Вихідним матеріалом для штампування служить квадратний або круглий катаний пруток чи періодичний фасонний прокат. Найбільш економічне застосування фасонного прокату (маса вихідної заготовки зменшується на 5–8 %).

Заготовки виливаних валів одержують в основному двома методами: виливанням в земляні і в оболонкові форми.

18.2.3. Способи базування

Основними базами колінчастого вала є опорні поверхні корінних шийок. Проте, не на всіх операціях обробки можна використати їх як технологічні. На багатьох операціях за технологічні бази вибирають поверхні центрових фасок в отворах на кінцях вала, а поверхні корінних шийок, у зв'язку з недостатньою жорсткістю вала, часто використовують додаткові технологічні бази, встановлюючи їх на люнети.

При обробці корінних шийок, а також інших поверхонь, розташованих на одній осі з корінними, колінчастий вал необхідно і достатньо позбавити п'яти ступенів вільності.

Варіанти базування, що застосовують у цьому випадку, показані на рис. 18.13.

При обробці шатунних шийок, шпонкових канавок, отворів на фланці колінчастого вала, мастильних канавок виникає необхідність у точно визначеній кутовій орієнтації вала. В цьому випадку вал повинен бути позбавлений всіх шести ступенів вільності. В ремонтній практиці застосовують два варіанти позбавлення вала шостого ступеня вільності

На рис. 18.14, *а* показана кутова фіксація вала за рахунок контакту технологічної лиски на щоці вала з фіксатором ділильної скоби центрозміщувача, а на рис. 18.14, *б* – фіксація вала за допомогою штифта повідкового патрона, який входить в один з отворів фланця.

Використання тієї чи іншої схеми кутової фіксації обумовлене конструкціями вала і застосовуваного пристрою.

З точки зору досягнення точності взаємного положення оброблюваних поверхонь, найбільш раціональним є така структура технологічного процесу механічної обробки, при якій обробка поверхонь на всіх технологічних операціях виконувалась би з використанням одних і тих же технологічних баз. При цьому не було б похибки базування. Проте такий варіант технологічного процесу неможливий. Тому на різних операціях доводиться від одних технологічних баз переходити до інших. В цьому випадку необхідно скористатись таким варіантом переходу, при якому похибки базування були б мінімальними.

Оскільки основною базою колінчастого вала є корінні шийки, то шатунні шийки

обробляють при базуванні на оброблені корінні шийки. Тому механічну обробку шийок починають з корінних.

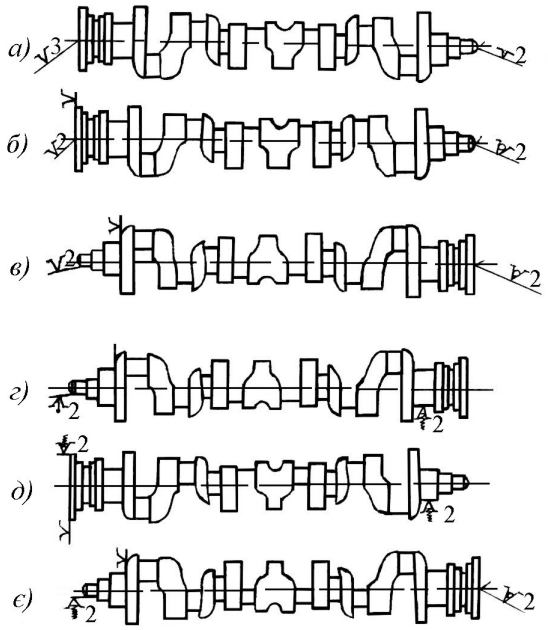


Рис. 18.13. Варіанти базування колінчатих валів

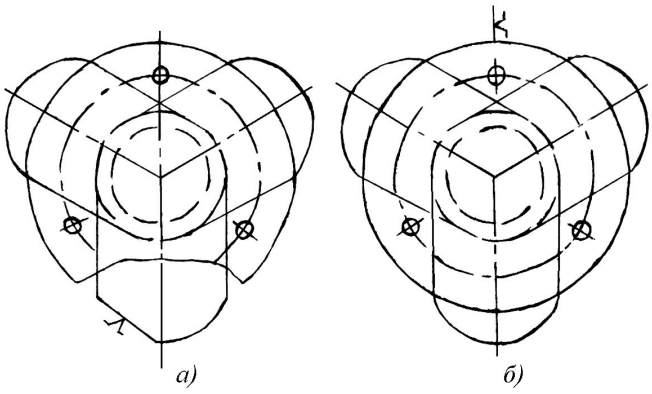


Рис. 18.14. Варіанти кутової фіксації колінчатих валів при обробці поверхонь шатунних шийок

18.2.4. Типовий технологічний маршрут

Послідовність операцій при обробці штампованих заготовок колінчастих валів така:

1. Виправлення заготовки.
2. Обробка допоміжних баз: фрезерування крайніх торців вала, свердління центрових отворів, фрезерування площадок на щоках для кутового орієнтування вала.
3. Виправлення вала з вивіренням биття при встановленні в центрах.
4. Токарна обробка корінних шийок, торців, щік і кінців вала.
5. Попереднє шліфування корінних шийок і кінців вала.
6. Токарна обробка шатунних шийок і торців щік, що з ними стикаються.
7. Попереднє шліфування шатунних шийок.
8. Обробка отворів на фланці переднього кінця вала і шийках вала для створення змащувальних каналів.
9. Фрезерування шпонкових канавок.
10. Поверхневе загартування шийок вала.
11. Виправлення вала з вивіренням в центрах.
12. Чистове шліфування корінних шийок вала, зовнішніх і торцевих поверхонь фланця.
13. Чистове шліфування шатунних шийок.
14. Виправлення вала.
15. Балансування.
16. Фінішна обробка корінних і шатунних шийок.
17. Миття.
18. Контроль.

18.2.5. Методи виконання окремих операцій

При обробці на фрезерно-центрувальних верстатах вал встановлюють в самоцентруючих призмах по крайніх корінних шийках. Осьове орієнтування вала для рівномірного розподілу припусків відбувається по торцях середньої шийки чи щоки вала (рис. 18.15).

При великосерійному і масовому виробництвах валів токарні, свердлильні, шліфувальні та інші верстати вбудовуються в автоматичні лінії.

При обточуванні корінних шийок заготовки довгих колінчастих валів звичайно встановлюють в центрах з опорою по середній корінній шийці. Для цього середня корінна шийка попередньо обробляється на токарному і шліфувальному верстатах (рис. 18.16). Для токарної обробки використовують звичайно спеціалізовані багаторізцеві верстати з двобічним приводом. На цих верстатах заготовки встановлюються в центрах двох патронів.

Після токарної обробки середня шийка шліфується під люнет методом врізання. Одночасно з шийкою шліфуються торці щік і галтелі.

Використовуючи середню корінну шийку як додаткову опору, на наступних операціях обточують решту корінних шийок, фланець і передній ступінчастий кінець. Одночасно з цим підрізають торці щік, фланця і обточують галтелі. Для цього

використовують токарні багаторізцеві напівавтомати з центральним приводом. На цих верстатах заготовки встановлюються в центрах, а середня корінна шийка – в люнеті (рис. 18.17). Повідком є щока середньої шийки. В цій операції одночасно обточують решту корінних шийок (крім середньої), ступінчастий кінець вала, фланець і підрізають торці щік і галтелі. Шийки обточують широкими радіальними призматичними різцями, встановленими в передніх і задніх супортах.

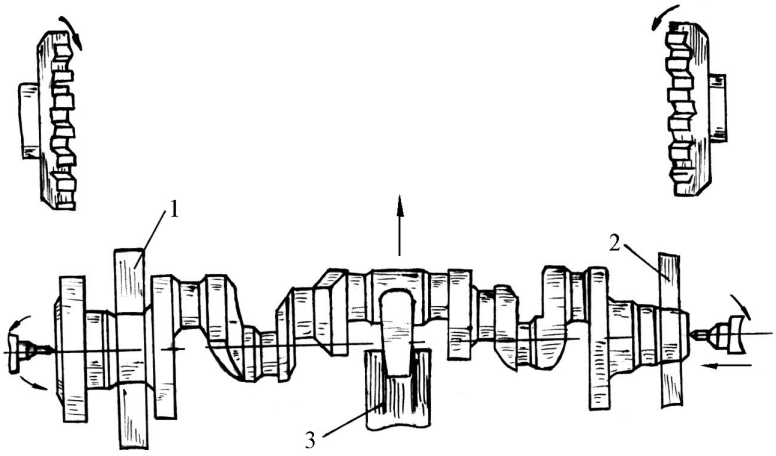


Рис. 18.15. Схема орієнтування заготовки колінчатого вала при фрезеруванні та центруванні торців: 1, 2 – центруючі призми; 3 – призма орієнтації заготовки в осьовому напрямку

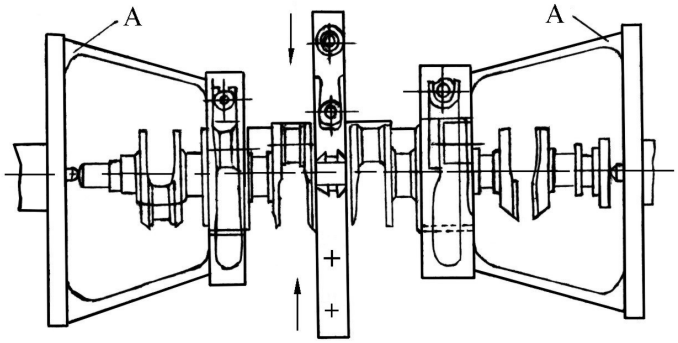


Рис. 18.16. Проточування середньої шийки колінчатого вала і підрізання її щік на токарному напівавтоматі з двостороннім приводом

Щоб перейти до другої частини обробки вала, тобто до обточування шатунних шийок, необхідно підготувати точні основні бази (корінні шийки). Для цього попередньо шліфують всі корінні шийки і кінці вала на дво- чи багатокаменевих круглошліфувальних верстатах (рис. 18.18).

Шатунні шийки обточують попарно (по дві шийки, що лежать на одній осі

обертання), наприклад, спочатку – першу і шосту, потім – другу і п'яту і, нарешті, – третю і четверту, або всі шийки одночасно. В обох випадках підрізають площини щік, що прилягають до шийок, і проточують галтелі. Так, у першому випадку обточування шатунних шийок шестиколінчастого вала повинно виконуватись за три операції, у другому всі шатунні шийки можна обточити одночасно.

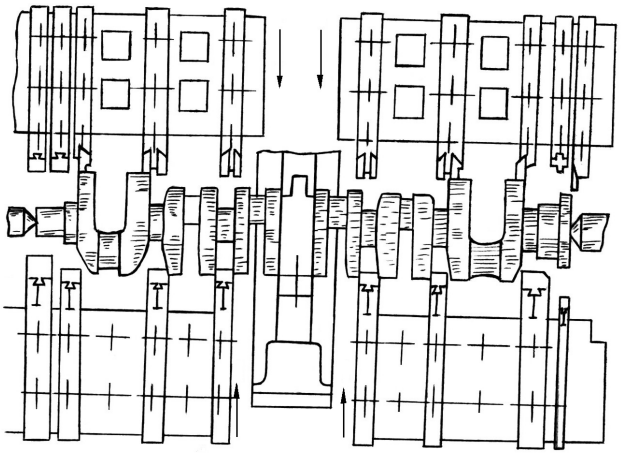


Рис. 18.17. Обточування корінних шийок і кінців колінчатого вала на токарному напівавтоматі із центральним приводом

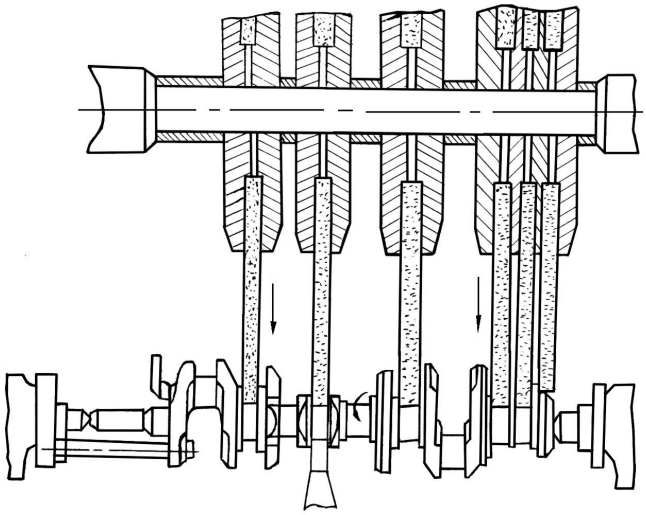


Рис. 18.18. Шліфування корінних шийок колінчатого вала

Для обробки за першим варіантом можуть бути використані верстати з двобічним приводом. В цьому випадку колінчастий вал встановлюють в положення, при якому осі двох шийок, що належать обробці, збігаються з віссю обертання шпинделя

верстата. Для встановлення і затискання вала використовуються такі ж пристрої, як і для обточування середньої корінної шийки (рис. 18.16). При встановленні вала в пристроях вісь корінних шийок зміщується по відношенню до осі обертання шпинделя на величину радіуса кривошипа за допомогою центрозміщувача.

Для обробки шийок за другим варіантом використовують верстати спеціального призначення, число робочих супортів яких відповідає числу оброблюваних шатунних шийок. Вал встановлюють по крайніх корінних шийках і обпирають на люнети корінними шийками.

В обох випадках кутове базування вала здійснюється спеціальними сухарями, що фіксують його по фрезерованих платиках (кутових базах) на крайніх щоках. Вал обертається навколо осі корінних шийок, а супорти рухаються разом з оброблюваними шийками, відтворюючи рух шатунів, закріплених на цих шийках. В кожному супорті є різцетримач з трьома різцями: два крайніх фасонних різці служать для підрізання щік і проточування галтелей і один середній (широкий прямий) – для обточування циліндричної частини шийки. Різці мають радіальну подачу (рис. 18.19).

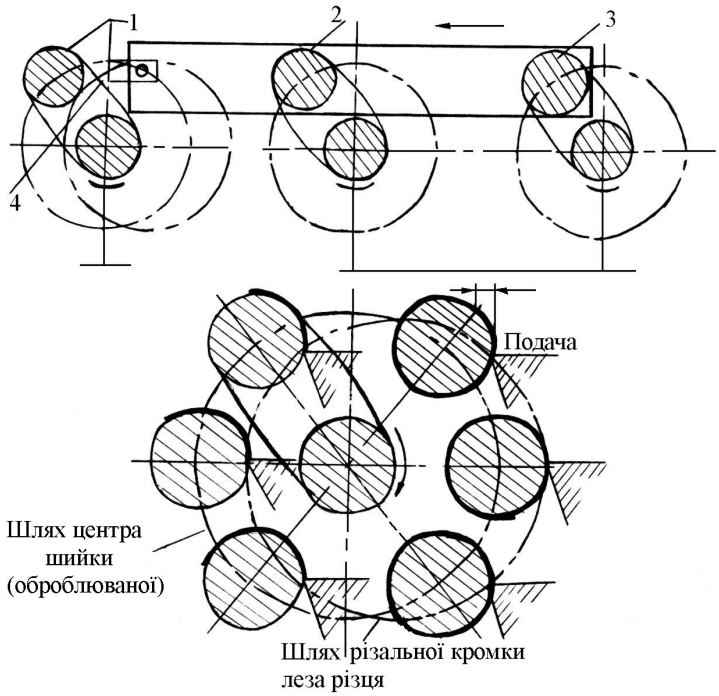


Рис. 18.19. Одночасне обточування всіх шатунних шийок багатоколінчастого вала та схема роботи супортів

Верстат має два копіювальних колінчастих вали 2 і 3, які обертаються синхронно з оброблюваним валом 1, і вони ж керують рухами супортів.

Шийки сталевих заготовок колінчастих валів шліфують попередньо до термічної обробки і остаточно – після неї на спеціальних верстатах.

Балансування колінчастих валів здійснюється на спеціальних балансувальних

верстатах (часто автоматичних), які мають свердлильні або фрезерні головки для усунення дисбалансу.

Після чистового шліфування шийки піддають фінішній обробці для одержання високої чистоти робочих поверхонь. Фінішними операціями є головним чином суперфінішування, полірування і мікрофінішування.

Суперфінішування шийок здійснюється головками з абразивними брусками.

Полірують шийки полотняною або паперовою стрічкою на спеціальних полірувальних верстатах.

В останні роки при фінішній обробці шатунних і корінних шийок застосовують новий метод – мікрофінішування.

Створені спеціальні верстати, які забезпечують узгодження в процесі обробки таких параметрів: частоти та амплітуди коливання і напрямку руху брусків, питомого тиску брусків на оброблювану поверхню і колової швидкості оброблюваної поверхні. Завдяки поєднанню руху брусків в різних напрямках і обертання деталі сліди обробки перехрещуються, і це підвищує чистоту обробки поверхні.

Для підвищення втомленої міцності дуже навантажених колінчастих валів застосовують їх поверхневе зміцнення обкатуванням.

Дуже відповідальною операцією є контроль, при якому використовуються різні контрольні пристрої, які часто настроюють за еталонним колінчастим валом.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Сформулюйте службове призначення, конструктивні різновиди та технічні умови на виготовлення ступінчастих валів.
2. Які матеріали та способи одержання заготовок застосовуються для виготовлення ступінчастих валів?
3. Накресліть основні схеми базування ступінчастих валів при їх обробці.
4. Складіть типовий технологічний маршрут обробки багатоступінчастого вала.
5. Охарактеризуйте методи токарної обробки ступінчастих валів в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва.
6. Охарактеризуйте методи токарної обробки ступінчастих валів в умовах великосерійного та масового виробництва.
7. Охарактеризуйте методи шліфувальної обробки валів в умовах різних типів виробництва.
8. Якими технологічними методами нарізаються на валах шпонкові канавки та шліці?
9. Якими технологічними методами нарізається на валах різь?
10. Сформулюйте службове призначення, конструктивні різновиди та технічні умови на виготовлення колінчастих валів.
11. Які матеріали та способи одержання заготовок застосовуються для виготовлення колінчастих валів?
12. Накресліть основні схеми базування колінчастих валів при їх обробці.
13. Складіть типовий технологічний маршрут обробки колінчастого вала.
14. Охарактеризуйте технологічні методи обробки корінних шийок колінчастого вала.
15. Охарактеризуйте технологічні методи обробки шатунних шийок колінчастого вала.

16. Охарактеризуйте технологічні методи шліфування корінних та шатунних шийок колінчастого вала.

17. Охарактеризуйте технологічні методи фінішної обробки корінних та шатунних шийок колінчастого вала.

18. Якими технологічними методами виконується свердління отворів та виготовлення шпонкових канавок на колінчастих валах?

19. Як контролюється якість виготовлення колінчастих валів?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Проектирование технологи / Под редакцией Ю.М. Соломенцева.– М.М., 1990. – 416 с.

2. Руденко П.А. Раздел 3. Технология изготовления машин: Конспект лекцій. – Чернишов, 1986. – 159 с.

3. Технология машиностроения (специальная часть) / Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колосов И.М. и др. – М., 1986. – 480 с.

4. Якимов О.В., Гусарев В.С., Якимов О.О., Линчевський П.А. Технологія автоматизованого машинобудування. – К. 1994. – 400 с.

Тема 19. Технологія виготовлення зубчастих та черв'ячних передач

19.1. Технологічні відомості про деталі зубчастих передач

19.1.1. Службове призначення, конструктивні різновиди і технічні умови на виготовлення

Зубчасті колеса служать для передачі крутного моменту від одного вала до другого при заданому передаточному відношенні. Вони поділяються на циліндричні, конічні та черв'ячні.

Циліндричні зубчасті колеса виготовляють з прямим і косим зубом при паралельному розташуванні осей. В окремих випадках циліндричні колеса з косими зубами служать для передачі руху між валами, розташованими під прямим кутом.

Основні механізми, в яких застосовуються циліндричні зубчасті колеса: коробки передач автомобілів, редуктори, передні бабки верстатів, коробки подач, передаточні механізми верстатів тощо.

За розмірами зовнішнього діаметра циліндричні та конічні зубчасті колеса поділяються на такі групи: до 50 мм, понад 50 до 200 мм, понад 200 до 300 мм, понад 300 мм.

За технологічними ознаками зубчасті колеса поділяються на:

- циліндричні та конічні без маточини і з маточиною, з гладким або шліцьовим отвором (рис. 19.1, *а*);
- багатовінцеві блокові з гладким або шліцьовим отвором (рис. 19.1, *б*);
- циліндричні, конічні та черв'ячні типу фланця (рис. 19.1, *в*);
- циліндричні та конічні з хвостовиком (рис. 19.1, *г*).

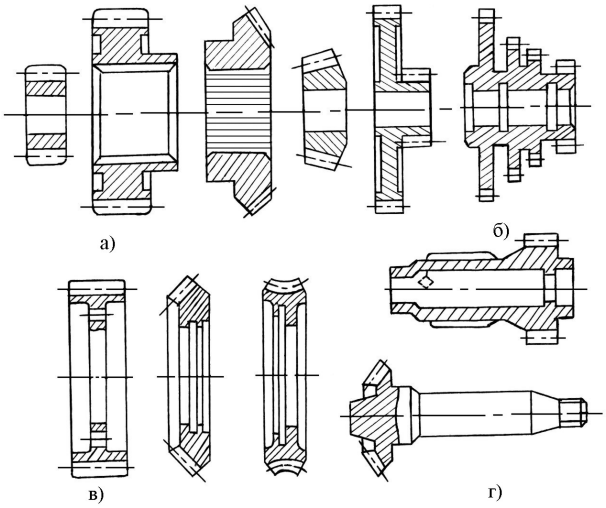


Рис. 19.1. Основні групи зубчастих коліс: а – циліндричні та конічні зі ступицею і без ступиці; б – багатоступінчасті, блокові; в – циліндричні, конічні та черв'ячні типу фланця; г – циліндричні та конічні із хвостовиком

Черв'ячні колеса при невеликих розмірах виконуються суцільними з маточиною, а при великих розмірах – з вінцями.

Основні технічні вимоги, що висуваються до зубчастих коліс, полягають у наступному:

- відхилення від концентричності початкового кола зубчастого колеса відносно посадочних поверхонь (ексцентриситет) допускається не більше 0,05–0,01 мм;
- неперпендикулярність торців до осі отвору чи вала (биття торців) звичайно приймається не більше 0,01–0,015 мкм на 100 мм діаметра. В залежності від умов роботи ця величина може бути підвищена чи трохи зменшена;
- центральний отвір рекомендується виконувати за 7-м квалітетом точності (якщо немає особливих вимог), посадочні шийки зубчастих коліс-валів також звичайно виконують за 7-м квалітетом точності.

Шорсткість обробки вказаних поверхонь R_a = 1,25–0,32 мкм. Решту конструктивних елементів коліс рекомендується виконувати за 8–12 квалітетами точності при шорсткості R_a = 4–0,63 мкм.

В результаті термічної обробки поверхні твердість зубів зубчастих коліс, що цементуються, повинна бути в межах HRC 55–60 при глибині шару цементації 1,0–2,0 мм. При ціануванні твердість HRC 42–53, глибина шару повинна бути в межах 0,5–0,8 мм.

Твердість поверхонь, що не загартовуються, звичайно знаходиться в межах НВ 180–270.

Орієнтовно залежність ступеня точності від колової швидкості показана в наступній таблиці.

Колова швидкість, м/с	Прямозубі	Косозубі
до 2,5	8	–
від 2,5 до 6	7	8
від 6,0 до16	6	7
від 16 до 40	–	6

Вимоги щодо кінематичної точності зубчастих коліс, плавності їх роботи, контакту зубів встановлені стандартами:

19.1.2. Матеріали і способи одержання заготовок

У залежності від службового призначення зубчасті колеса виготовляють з вуглецевих, легованих сталей (45, 40Х, 20Х, 18ХГТ, 35ХМ та інші), чавуну, пластичних мас.

Леговані сталі забезпечують більш глибоку загартованість та меншу деформацію у порівнянні з вуглецевими.

Матеріал зубчастих коліс повинен мати однорідну структуру, яка забезпечує стабільність розмірів після термічної обробки, особливо за розмірами отвору і кроку коліс.

Досвідом встановлено, що найбільше жолоблення дає цементація і менше загартування, тому на ряді заводів виправлення жолоблення і підвищення точності шевінгуванням виконують не до цементації, а між цементацією та загартуванням.

Точність при термічній обробці знижується на 0,5–1,0 ступеня і тим менша, чим краще підібраний матеріал за стабілізацією розмірів при термічній обробці. Леговані сталі, як правило, забезпечують менше жолоблення, ніж вуглецеві.

Розрізняють такі основні види заготовок зубчастих коліс: заготовка з прокату; поковка, виконана вільним куванням на кувальному молоті; штампована заготовка в підкладних штампах, виконана на молотах або пресах; штампована заготовка в закріплених штампах, виконана на молотах, пресах і горизонтально-кувальних машинах.

Заготовки, одержані вільним куванням на молотах, за конфігурацією не відповідають формі готової деталі, структура металу завдяки куванню поліпшується у порівнянні із заготовкою, відрізаною від прутка.

Штамповка в підкладних штампах виконується на кувальних молотах, може бути виконана також на фрикційних і гідравлічних пресах або на механічних кувальних пресах в дрібносерійному виробництві.

Штампування заготовок в закріплених штампах на штампувальних молотах і кувальних пресах здійснюється як у відкритих (з облоєм), так і в закритих (без облою) штампах у великосерійному і масовому виробництві.

Штампування заготовок в закритих штампах має ряд переваг: знижуються витрати металу через відсутність облою, форма заготовки наближена до готової деталі, відпадає необхідність в обрізних штампах, знижується собівартість, економія металу складає від 10 до 30 %. Проте є підвищені витрати штампів.

Штампування на пресах має велику перевагу перед штампуванням на молотах, оскільки одержується точна штампована заготовка, припуски і напуски на 30 %, ніж при штампуванні на молотах, і за конфігурацією заготовка більш наближена до готової деталі. Продуктивність штампування на пресах вища, ніж на молотах в 1,5–2 рази, робота відбувається без ударів; на пресах можна штампувати з прошиванням отворів.

Штампуванням на горизонтально-кувальних машинах виготовляють заготовки зубчастих коліс з хвостовиком або з отвором. Різні методи одержання заготовок, які забезпечують різну точність, наведені в табл. 19.1.

Таблиця 19.1

Точність різних методів виготовлення заготовок

Метод виготовлення	Якість поверхні	Коливання розмірів поковок, мм
Кування вільне	Дуже груба	2–10
Штампування:		
– на кувальному молоті в підкладних штампах	Груба	1,5–3,5
– на штампувальному молоті в закріплених штампах	Груба	0,5–3,0
– на вертикально-штампувальному механічному пресі	Менш груба	0,4–2,0
– на горизонтально-кувальній машині		
– гаряче калібрування на пресі	Менш груба	0,4–2,5
– чекання (карбування) на чеканочному (карбувальному) пресі	Гладка Дуже гладка	0,1–0,4 0,05–0,1

19.1.3. Способи базування

Основними технологічними базами зубчастих коліс з отвором є поверхня отвору і базовий торець, для вала – шестерні-посадочні шийки вала (під підшипник). Тому обробка зубців повинна здійснюватись при базуванні по отвору, а для вала – шестерні за центровими отворами.

За способом базування всі зубчасті колеса поділяються на три групи:

1. Зубчасті колеса, у яких $\ell/d > 1$(довгий отвір).
2. Зубчасті колеса, у яких $\ell/d < 1$ (короткий отвір).
3. Вал-шестерні.

Перша група коліс потребує обробки на довгій оправці (4 ступені вільності) іноді з упором в торець (1 ступінь вільності).

Друга група коліс потребує обробки при базуванні на торець (три ступені вільності) і на короткий палець (2 ступені вільності).

Третя група коліс потребує обробки в центрах.

Для коліс перших двох груп першою механічною операцією є обробка отвору. При цьому за базу приймають необроблені торець та зовнішню циліндричну поверхню вінця.

Для коліс третьої групи першою механічною операцією є обробка торців і зацентровування. Базування в цьому випадку здійснюється за необробленими посадочними шийками.

Обробка отвору зубчастого колеса після термічної обробки здійснюється при базуванні по бокових поверхнях зубів в спеціальному патроні з трьома шариками чи роликами, які торкаються зубів на діаметрі ділильного кола. В цьому випадку при наступному шліфуванні зубів на бокових поверхнях досягається рівномірний припуск (рис. 19.2).

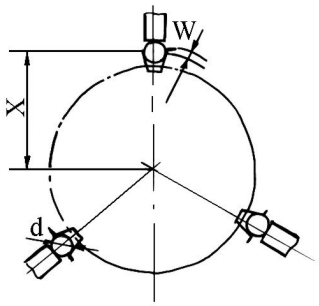


Рис. 19.2. Схема центрування зубчастого колеса по робочих поверхнях зубів

19.1.4. Технологічний маршрут виготовлення циліндричних зубчастих коліс при $\ell/d < 1$

1. Зенкерування отворів, проточування та обточування (чорнове) з одного боку.
2. Розточування отвору та обробка торцевих і зовнішніх поверхонь колеса з другого боку.
3. Протягування отвору і шліців комбінованою протяжкою.
4. Чистова токарна обробка базового торця та зовнішньої поверхні з одного боку.

5. Чистова токарна обробка торця та зовнішньої поверхні з другого боку.
6. Контроль.
7. Зубофрезерування (чорнове і чистове).
8. Заокруглення зубів з одного боку.
9. Шевінгування зубів.
10. Миття та контроль.
11. Термічна обробка.
12. Калібрування отворів прошиванням.
13. Шліфування зубів (якщо зуби не шевінгуються).
14. Миття та контроль.

19.1.5. Технологічний маршрут виготовлення циліндричних зубчастих коліс при $\ell/d > 1$

1. Свердління та зенкерування центрального отвору, якщо отвір не прошито в заготовці. В ряді випадків – додаткове цекування торцевої поверхні для створення точної опорної бази при протягуванні.
2. Протягування отворів гладкою, шліцьовою або комбінованою протяжкою.
3. Протягування шпонкової канавки чи шліців.
4. Чорнове обточування зовнішніх і торцевих поверхонь на оправці.
5. Чистове обточування зовнішніх і торцевих поверхонь на оправці та зняття фасок.
6. Контроль розмірів і биття торців на оправці.
7. Чорнове і чистове зубофрезерування чи зубодовбання одного вінця.
8. Чорнове і чистове зубофрезерування чи зубодовбання для решти вінців.
9. Зубозаокруглення з одного боку.
10. Шевінгування зубів.
11. Миття та контроль.
12. Термічна обробка.
13. Калібрування отвору прошивкою чи шліфуванням отвору і торця.
14. Шліфування другого торця.
15. Притирання зубів (за наявності в маршруті операції шевінгування) чи шліфування зубів (за відсутності операції шевінгування).
16. Контроль.

19.1.6 Технологічний маршрут виготовлення вал-шестерні (циліндричної)

1. Фрезерування та центрування заготовки з двох боків.
2. Обточування заготовки з одного боку (чорнове).
3. Обточування заготовки з другого боку (чорнове).
4. Обточування заготовки з одного боку чистове.
5. Обточування заготовки з другого боку чистове.
6. Фрезерування шпонкової канавки.
7. Зубофрезерування крайнього вінця (чорнове).
8. Зубофрезерування середнього (більшого) вінця (чорнове).
9. Зубодовбання малого вінця (чорнове).

10. Зубозаокруглення 1-го, 2-го і т. д. вінців.
11. Шевінгування 1-го, 2-го і т. д. вінців.
12. Миття та контроль.
13. Термічна обробка.
14. Шліфування східців з одного боку.
15. Шліфування східців з другого боку.
16. Притирання 1-го, 2-го і т. д. вінців.
17. Миття та контроль.

19.1.7. Технологічний маршрут виготовлення зубчастих конічних коліс при $\ell/d > 1$, 8-го ступеня точності зі шліцьовим отвором (заготовка – штамповка діаметром 50…200 мм)

1. Свердління та зенкерування (розточування) центрального отвору і підрізання торця (чи цекування).
2. Протягування отвору і шліців.
3. Чорнове обточування зовнішніх і торцевих поверхонь на оправці (можливе застосування копіра).
4. Чистове обточування на оправці конічних та інших поверхонь.
5. Попереднє фрезерування зубів.
6. Чистове нарізання зубів на зубострогальному верстаті або на зубофрезерному двома фрезами методом обкатування.
7. Контроль на обкатному верстаті.
8. Термічна обробка.
9. Шліфування внутрішнього отвору і торця (база – бокові поверхні 3-х западин зубів) (рис. 19.2).
10. Миття деталі.
11. Контроль, підбирання зубчастих пар на обкатному верстаті (база – поверхня отвору і торця).

19.1.8. Технологічний маршрут виготовлення конічного колеса-вала 5- 6-го ступеня точності (m = 4 мм, заготовка – штамповка діаметром 140 мм зі сталі 12ХН4А)

1. Виготовлення заготовки.
2. Фрезерування торців і зацентровування.
3. Попередня токарна обробка за копіром з одного боку.
4. Попередня токарна обробка за копіром з другого боку.
5. Термообробка.
6. Чистова токарна обробка з одного боку (за аналогією з операцією № 3).
7. Попереднє шліфування базової шийки і торця для створення технологічної бази для наступної обробки зубчастого вінця (шліфування в центрах з допустимим биттям по торцю 0,01 мм, по шийці – 0,007 мм).
8. Чистова токарна обробка конусних та інших поверхонь під зубчастий вінець.
9. Попереднє фрезерування зубів для зняття основного металу (обладнання – зубофрезерний напівавтомат).

10. Попереднє зубострогання з припуском під наступну обробку 0,55…0,65 мм на товщину зуба (обладнання – зубострогальний напівавтомат).

11. Чистове зубострогання, 6-й ступінь точності (припуск під наступне шліфування – 0,2…0,3 мм на товщину зуба).

12. Миття заготовки.

13. Контроль (перевірка площини контакту).

14. Термообробка: мідніння, цементація, загартування HRC 60, низьке відпущення.

15. Напівчистове шліфування базових шийок і торця.

16. Фрезерування шпонкових канавок.

17. Зняття заусениць.

18. Штучне старіння.

19. Чистове шліфування базових шийок і торця, допустиме биття торця і шийок – не більше 0,003…0,005 мм, R_a = 1,25 мкм.

20. Шліфування конічних, циліндричних і торцевих поверхонь зубчастого вінця; допустиме биття по конічних і циліндричних поверхнях – не більше 0,01 мм, по торцю – не більше 0,02 мм, R_a = 1,25 мкм.

21. Попереднє шліфування зубів (зубошліфувальний верстат підвищеної точності), на остаточне шліфування залишається 1/3 загального припуску під шліфування.

22. Остаточне шліфування зубів колеса, R_a = 1,25 мкм (верстат той же).

23. Миття деталі.

24. Остаточний контроль, перевірка мікротріщин на дефектоскопі, добір зубчастих коліс в пари за площиною контакту.

19.2. Методи виконання окремих операцій при виготовленні зубчастих коліс

19.2.1. Токарна обробка

В одиничному виробництві вся токарна обробка здійснюється на одному (токарному) верстаті за методом пробних проходів робітником, як правило, високої кваліфікації. Спочатку заготовка закріплюється за зовнішній діаметр в трикулачковому патроні. При цьому обробляється отвір і вільні торцеві та зовнішні циліндричні поверхні. Потім, після розкріплення деталі, обробляються зовнішні циліндричні та торцеві з одного боку. Кількість проходів залежить від стану заготовки, величини припусків і кваліфікації робітника.

В дрібносерійному і серійному виробництвах зубчасті колеса обробляються на револьверному і токарних верстатах, у великосерійному і масовому виробництвах – на горизонтальних і вертикальних токарних напівавтоматах і переналагоджуваних автоматичних лініях.

При використанні револьверного верстата вся обробка заготовки з одного боку виконується повністю з одночасною остаточною обробкою отвору. Схема такого технологічного налагодження показана на рис. 19.3.

При складній конфігурації обробка заготовки з другого боку може бути також виконана на револьверному верстаті. Деталь затискається за вже обробленою поверхнею в трикулачковому самоцентруючому патроні. Якщо заготовка простої

форми, то її другий бік можна обробити на токарному верстаті.

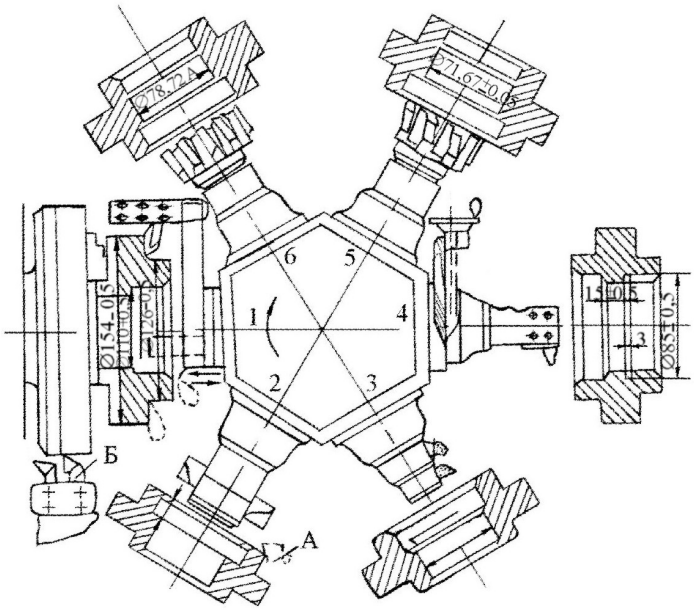


Рис. 19.3. Технологічне налагодження обробки зубчастого колеса на одношпиндельному багаторізцевому напівавтоматі

Для обробки зубчастих коліс на горизонтальних напівавтоматах в заготовці попередньо свердлять отвір на свердлильному верстаті, і остаточно обробляють його на протяжному верстаті. На рис. 19.4 наведені приклади протягування циліндричного отвору на жорсткій та шаровій опорах.

Наступна обробка заготовки з базуванням по отвору виконується за дві операції: попередня та остаточна обробка зовнішніх поверхонь на багаторізцевих напівавтоматах (рис. 19.5).

Зовнішні поверхні заготовок на багаторізцевих напівавтоматах можна обробляти як у два, так і у один бік.

При значному розмірі виробничої програми для обробки зубчастих коліс застосовують багатошпиндельні напівавтомати.

Обробка колеса на шестишпиндельному напівавтоматі з одноіндексною схемою настроювання показана на рис. 19.6. Другий бік колеса повинен оброблятись на другому такому ж верстаті.

Двоіндексна схема настроювання передбачає обробку заготовки зубчастого колеса повністю на одному верстаті. Технологічне налагодження повної обробки заготовки зубчастого колеса на одному восьмишпиндельному напівавтоматі показане на рис. 19.7.

Як видно з наведених прикладів технологічних налагоджень для багатошпиндельних напівавтоматів, повна зовнішня обробка заготовки зубчастого

колеса на цих верстатах часто передбачає і остаточну обробку базового отвору.

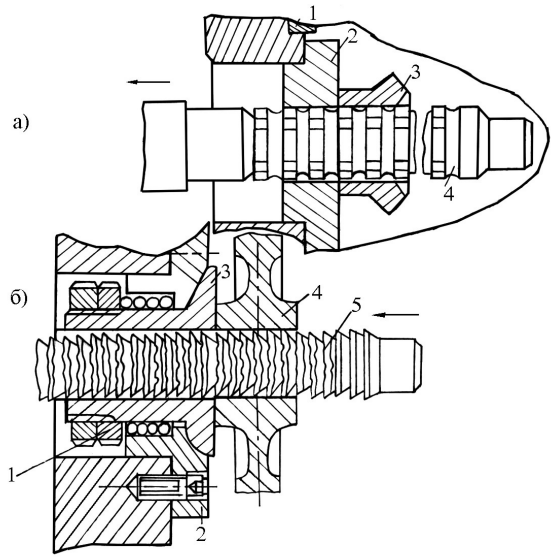


Рис. 19.4. Протягування отворів в зубчастих колесах:
а – на жорсткій опорі; б – на шаровій опорі

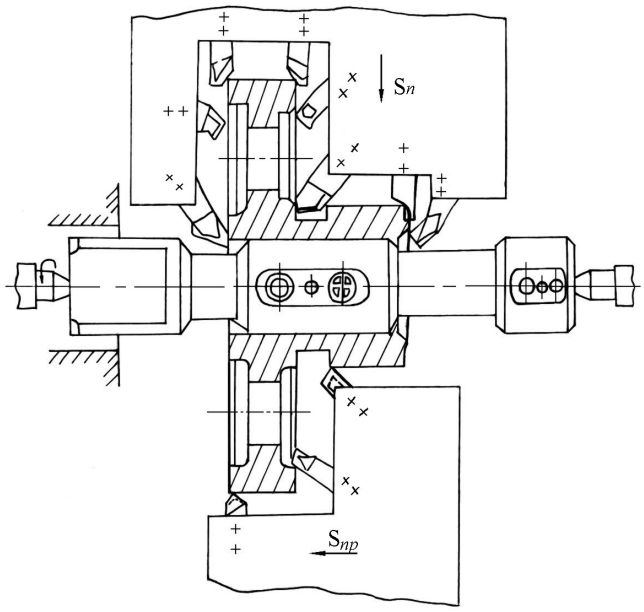


Рис. 19.5. Технологічне налагодження обробки зубчастого колеса
на одношпиндельному багаторізцевому напівавтоматі

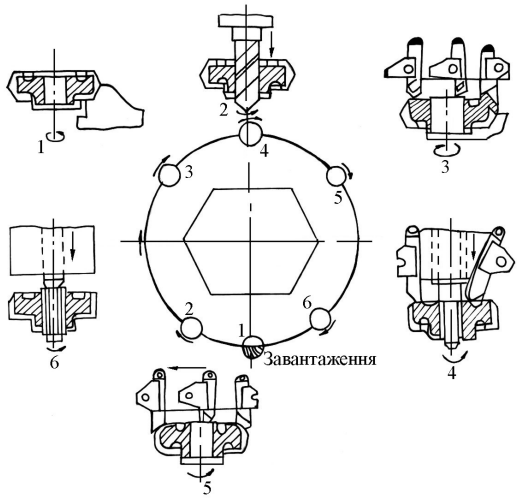


Рис. 19.6. Технологічне налагодження обробки зубчастого колеса на шестишпиндельному напівавтоматі

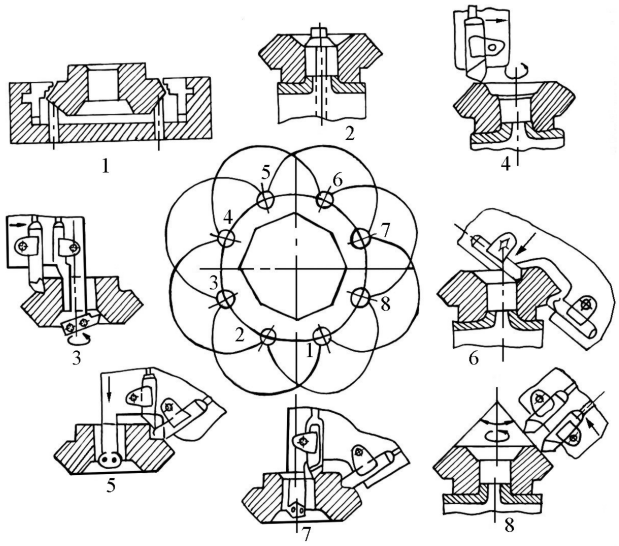


Рис. 19.7. Технологічне налагодження обробки конічного зубчастого колеса з двоіндексною схемою настроювання на восьмишпиндельному напівавтоматі

Для всіх типів зубчастих коліс останньою операцією перед нарізанням зубів часто є шліфування торця чи його остаточне підрізання, що забезпечує перпендикулярність торця до осі отвору зубчастого колеса і точність нарізання зубів.

19.2.2. Огляд найпоширеніших способів обробки зубів

Найпростіший спосіб нарізання зубчастих коліс – на горизонтальних і універсальних фрезерних верстатах за допомогою ділильної головки модульними дисковими фрезами. Цей метод, який називається методом копіювання, полягає в послідовному фрезеруванні западин між зубами фасонною модульною фрезою. Такі фрези виготовляють набором з 8 чи 15 штук для кожного модуля. Звичайно застосовують набір фрез з 8 штук, обробка якими дозволяє одержувати зубчасті колеса дев'ятого ступеня точності за державним стандартом, але для виготовлення більш точних зубчастих коліс потрібен набір з 15 чи 26 штук. Така кількість фрез в кожному наборі необхідна тому, що для різного числа зубів коліс розміри западин між зубами різні. Кожна фреза набору призначена для певного інтервалу числа зубів.

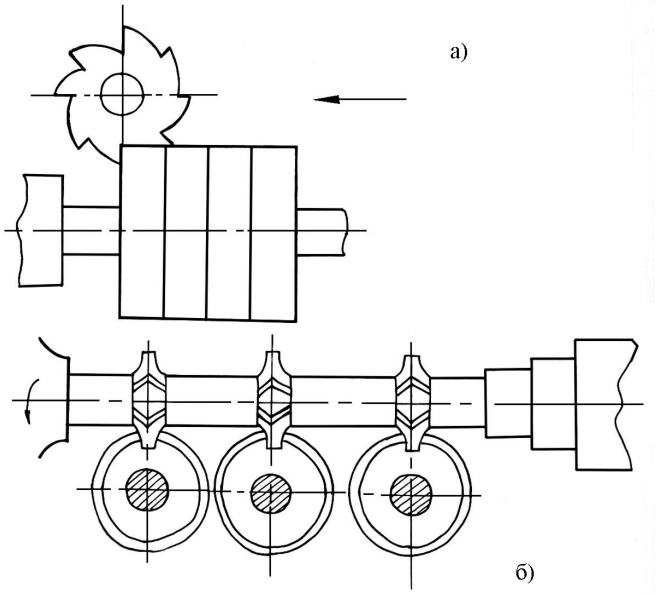


Рис. 19.8. Нарізання зубчастих коліс дисковими модульними фрезами: а – декількох заготовок на одній оправці; б – трьома фрезами одночасно

Зубчасті колеса звичайно нарізаються по одному або по декілька штук на оправці (рис. 19.8, *а*), що збільшує продуктивність за рахунок часу, що витрачається на врізання і вихід фрези, а також за рахунок допоміжного часу. Якщо на шпиндельній оправці розташувати дві або три фрези (рис. 19.8, *б*), кожна з яких буде прорізати западини зубів у одній групі заготовок, то продуктивність буде ще більшою. В цьому випадку застосовують багатошпиндельні ділильні головки. Застосування для цих цілей напівавтоматичних верстатів, у яких всі допоміжні рухи (підхід заготовки до фрези, відхід їх у початкове положення, поворот заготовки на один зуб і зупинка верстата) здійснюються автоматично, також підвищує продуктивність. Значне збільшення продуктивності досягається застосуванням твердосплавних фрез.

За методом копіювання нарізають також середньо- і великомодульні зубчасті колеса (включаючи і шевронні а також рейки) за допомогою пальцевих модульних чи

кутових фрез (рис. 19.9).

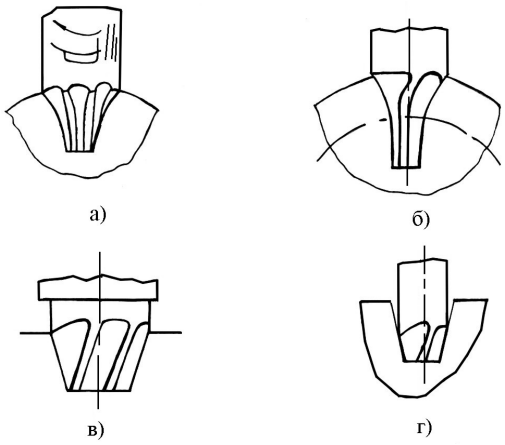


Рис. 19.9. Нарізання зубчастих коліс пальцевими фрезами:
а – прямозубого колеса; б – шевронного колеса; в – чорнове нарізання двокутною фрезою; г – послідовно двома кутовими фрезами

Нарізання зубів циліндричних зубчастих коліс дисковими модульними фрезами, а також пальцевими фрезами застосовується переважно в одиничному і дрібносерійному виробництві за відсутності спеціальних зуборізних верстатів, оскільки такий спосіб нарізання дає порівняно малу продуктивність і точність 9–11-го ступеня.

Метод обробки зубів обкаткою полягає в тому, що в процесі обробки відтворюється зчеплення зубчастої пари, в якій однією деталлю є різальний інструмент, а другою – зубчасте колесо, що нарізається.

Нарізання зубів циліндричних коліс з прямим, косим і криволінійним (гвинтовим) зубом виконується за допомогою:

– черв'ячних фрез (зубофрезерування);

– довб'яків у виді шестерень (дискових) (зубодовбання);

– довб'яків у виді гребінок – рейок (зубодовбання).

Вимоги точності та плавності зчеплення зубчастих коліс, а також спроби підвищити продуктивність зубонарізання призвели до створення спеціальних зуборізних верстатів. Найбільш поширеними є верстати, що формують профіль зуба шляхом фрезерування або довбання різальними кромками інструмента в безперервному процесі обкатки. При обробці довбанням одержується більш правильний профіль, ніж при фрезеруванні, оскільки в цьому випадку неточності інструменту значно менше відбиваються на профілі зуба, але зате удари, що виникають при обробці шкідливо впливають на верстат і інструмент. Внаслідок цього метод довбання застосовується головним чином для чистового нарізання зубів. Метод фрезерування дво- чи тризахідною фрезою, як найбільш продуктивний, застосовується головним чином для чорнового нарізання. Фрезерування однозахідними фрезами застосовується для чистового нарізання. Методом фрезерування можна нарізати велику кількість видів зчеплення, а саме: циліндричні

зубчасті колеса з прямим і косим зубом, черв'ячні зубчасті колеса, черв'яки, ланцюгові колеса.

Цей метод завдяки високій продуктивності та точності (8–9-й квалітет) має найбільше поширення (рис. 19.10).

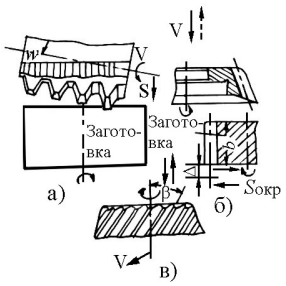


Рис. 19.10. Схема роботи зуборізних інструментів: а – черв'ячною фрезою; б – зуборізним прямокутним довбачем; в – зуборізним косозубим довбачем

Зубчасті колеса 7–8-го ступеня точності одержують довбанням зубодовбальними довбачами на спеціальних зубодовбальних верстатах.

Довбач є різальним інструментом, має форму шестерні і того ж модуля, що і нарізуване зубчасте колесо. Довбачі виготовляють для зовнішнього і внутрішнього довбання. Останній випадок відноситься до зубчастих коліс з внутрішнім зчепленням.

Для нарізання зубчастих коліс з гвинтовим зубом застосовується довбач також з гвинтовим зубом і з тим же кутом підйому гвинтової лінії, що і зубчастого колеса, яке нарізається. Довбач одержує додаткове обертання по гвинтовій лінії від спеціального копіра, що розміщується у верхній частині шпинделя довбача.

Обробка за один хід застосовується для зубчастих коліс з модулем 1–2, за два ходи – з модулем 2,25–4 і за три – при модулях, що перевищують 4 мм, а також при підвищених вимогах щодо точності та шорсткості обробки.

Звичайно зубчасті колеса навіть середніх модулів попередньо обробляються на зубофрезерних верстатах, а чистова обробка виконується на зубодовбальних верстатах за один прохід (і рідко – за два).

Попереднє нарізання зубів на зубофрезерних верстатах часто буває більш продуктивним, ніж на зубодовбальних верстатах. При обробці зубів з модулем 5 мм і більше, коли знімається значна кількість металу, зубофрезерні верстати більш продуктивні, ніж зубодовбальні. При нарізанні зубів з модулем до 2,5 мм, коли металу знімається порівняно мало, більш продуктивними і точними є зубодовбальні верстати. При обробці зубів середніх модулів (від 2,5 до 5 мм) зубофрезерні та зубодовбальні верстати за продуктивністю можуть бути рівноцінними, але доцільніше застосовувати зубофрезерні.

Циліндричні зубчасті колеса з прямим, косим і гвинтовим зубами можна нарізати на зубострогальних верстатах із застосуванням довб'яків у вигляді гребінок (рейок), які виготовляти і застосовувати простіше, ніж довбачі. Зубострогальні верстати для нарізання зубчатих коліс гребінками працюють за методом обкатки.

При нарізанні зубчастих коліс з косим зубом супорт з гребінкою повертається на

кут нахилу зуба.

Різні методи зубодовбання показані на рис. 19.11.

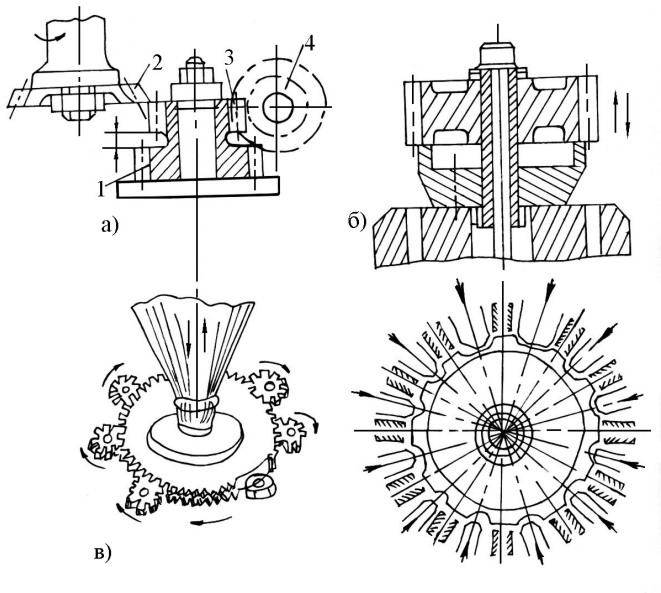


Рис. 19.11. Нарізання зубів довбачами: а – довбання двовінцевого колеса; б – довбання багаторізцевою головкою; в – одночасне довбання коліс комбінованим довбачем

Протягування зовнішніх і внутрішніх поверхонь фасонних складних форм забезпечує високу продуктивність та точність обробки. Тому цей спосіб почали застосовувати для нарізання зубів. Обробка протягуванням западин між двома чи декількома зубами виконується послідовно протяжкою з профілем, що відповідає профілю зубів нарізуваного зубчастого колеса. Після кожного проходу протяжки, за який вона обробляє западину між двома або декількома зубами (в залежності від конструкції протяжки), заготовка повертається за допомогою ділильного механізму стола. Таким способом нарізають зуби великих розмірів на вертикальних протяжних верстатах з круглим поворотним столом. При цьому формується достатньо точний профіль зубів, але досягти високої точності важко із-за похибок в ділильному механізмі стола.

Протягуванням обробляють зубчасті сектори на звичайних горизонтально-протяжних верстатах. При цьому за один хід протяжки нарізають всі зуби сектора і повороту сектора не потрібно.

Одночасне протягування всіх зубів зубчастих коліс не має широкого застосування з причини складності конструкцій протяжок і труднощів при видаленні стружки.

У зубчастих коліс, призначених для коробок передач та інших зубчастих коліс, що переключаються на ходу, для полегшення переключення виконується заокруглення торця зубів на спеціальних зубозаокруглюючих верстатах за

допомогою пальцевих фрез методом копіювання (рис. 19.12, *а*). В процесі роботи пальцева фреза обертається і одночасно переміщується по дузі зворотно-поступальним рухом, обгинаючи кромку зуба оброблюваного колеса, яка періодично відводиться в осьовому напрямку, повертається навколо осі на один зуб і підводиться до фрези. Час обробки кожного торця зуба – 1–3 с. Велика продуктивність досягається при заокругленні зубів порожнистою фрезою, що показана на рис. 19.12, *б*.

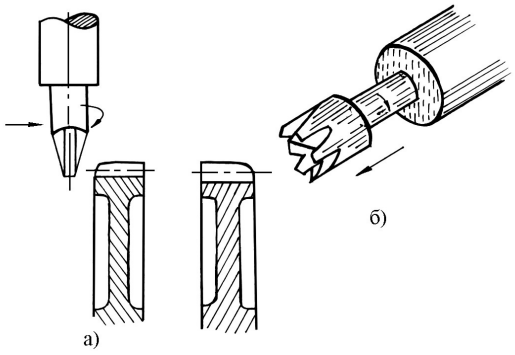


Рис. 19.12. Заокруглення зубців циліндричних зубчастих коліс:
а – пальцевою фрезою; б – порожнистою фрезою

Новим методом обробки є накатування зубів циліндричних і конічних зубчастих коліс.

Накатування у 15–20 разів продуктивніше зубонарізання і, крім того, відходи металу складають всього 3–4 % від ваги заготовки. Зуби модулем до 1 мм накатуються в холодному стані, а більше 1 мм – гарячим чи комбінованим (так званим гаряче-холодним) способом.

Вибір способу накатування зубів залежить не тільки від модуля, але й від конфігурації зубчастого колеса, потрібної точності зубів і роду матеріалу.

В холодному стані дрібномодульні зубчасті колеса можна накатувати на токарних верстатах з поздовжньою подачею. Схема такого накатування показана на рис. 19.13. В передньому 1 і задньому 5 центрах встановлюється оправка, яка обертається від шпинделя верстата. На оправці встановлюється заготовка 4 і ділильне зубчасте колесо 2, що знаходиться на початку процесу у зчепленні з двома чи трьома накатниками, закріпленими на супорті верстата. По виходу із зчеплення з ділильним зубчастим колесом 2 накатники приводяться в обертання зубами накатаної частини заготовок.

Для створення симетричного профілю зубів накатування виконується спочатку в одному, а потім у зворотному напрямку з прискореним зворотним обертанням шпинделя.

Накатники 3 і 6 представляють собою колеса з модулем, рівним модулю колеса, що накатується. Кожен накатник має забірну частину для поступового створення зубів, що накатуються. Ступінь точності зубів зубчастих коліс при холодному накатуванні приблизно восьмий.

Розроблений інший спосіб холодного накатування зубів (спосіб “ротофло”),

призначений для одержання прямих і косих зубів циліндричних зубчастих коліс і особливо зубів на кінцях валів. Суть цього способу полягає в тому, що заготовка, встановлена в центрах спеціального верстата, накатується двома накатниками, які мають форму плоских рейок.

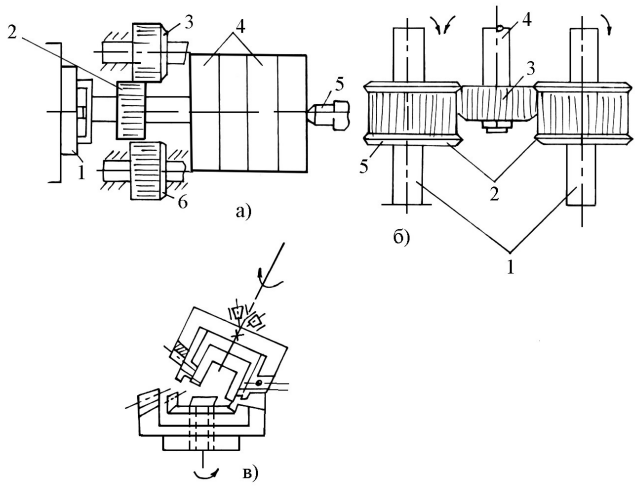


Рис. 19.13. Методи накатування зубців зубчастих коліс: а – на токарному верстаті; б – на спеціальному верстаті; в – конічного колеса на спеціальному верстаті

При гарячому накатуванні заготовки нагрівають струмами високої частоти до 1000–1200 °С за 20–30 с. до накатування зубів, накатування виконується двома накатниками.

Гаряче накатування виконується як з радіальною, так і з поздовжньою подачею на спеціальних потужних станах.

Штучний час накатування зубів на заготовках зубчастих коліс з модулем 2–3 мм складає від 30 до 60 с в залежності від кількості зубів. Точність зубів таких зубчастих коліс одержують за 9-м ступенем.

Підвищити точність зубів можна, застосовуючи комбіноване накатування, яке представляє собою гаряче накатування з наступним холодним калібруванням, що замінює собою зубофрезерування. На калібрування зубів витрачається часу менше в 5 (і більше) разів, ніж на зубофрезерування. Точність зубів після калібрування відповідає точності обробки зубів під шевінгування.

Застосування накатування, крім значного зниження часу обробки, підвищує термін служби зубчастих коліс завдяки збільшенню їх зносостійкості.

Накатування фрезерованих зубів циліндричних і конічних зубчастих коліс зміцнює поверхню зубів, чим значно підвищує зносостійкість як незагартованих, так і загартованих струмами високої частоти зубів.

19.2.3. Способи чистової та фінішної обробки

Остаточна чистова фінішна обробка зубів виконується такими способами: обкатуванням, шевінгуванням, шліфуванням, притиранням і припрацюванням.

ОБКАТУВАННЯМ називається процес одержання гладкої поверхні зубів незагартованого зубчастого колеса шляхом обертання його між трьома обертаючими загартованими шліфованими зубчастими колесами (еталонами), точність яких досягає ±5 мкм. При цьому відбувається деяке виправлення невеликих похибок у формі зуба.

ШЕВІНГУВАННЯМ називається процес чистової фінішної обробки незагартованого зубчастого колеса, який полягає у знятті (зіскоблюванні) дуже дрібних волосоподібних стружок, завдяки чому значно виправляються ексцентриситет початкового кола, похибки у кроці, в профілі евольвенти і в куті підйому гвинтової лінії.

Шевінгування (або інакше шевінг-процес) виконується двома способами. За першим способом шевінгування виконується за допомогою спеціального інструменту, який називається шевером.

Шевер представляє собою зубчасте колесо з прорізаними на бокових сторонах кожного зуба канавками глибиною 0,8 мм. Ці канавки створюють різальні кромки, які зіскоблюють волосоподібну стружку.

На рис. 19.14 показаний загальний вигляд шевінгування.

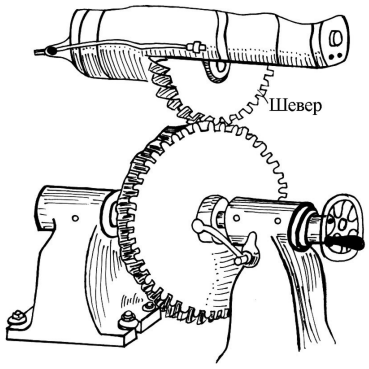


Рис. 19.14. Шевінгування циліндричного зубчастого колеса дисковим шевером

Оправка з оброблюваним зубчастим колесом закріплюється в центрах на столі верстата. Шевер розташовується над зубчастим колесом під кутом 15°, утворюючи з колесом ніби гвинтову пару з осями, що перетинаються. Приведений в обертання шевер обертає оброблюване зубчасте колесо, якому надається осьове зворотно-поступальне переміщення, що називається поздовжньою подачею (S_n = 0,15–0,3 мм на один оберт зубчастого колеса). При цьому він рівномірно зіскоблює стружку по всій ширині зуба. Крім обертання і осьового руху оброблюваного зубчастого колеса, для рівномірного зняття стружки по всьому профілю зуба стіл верстата має $S_в$ = 0,025–0,04 мм на один хід стола. Після закінчення кожного ходу стола шевер одержує обертання у зворотну сторону і обробляє другий бік зуба. Для попередньої

обробки число ходів – 4–6, для остаточної – 2–4. Припуск на шевінгування приймається 0,04–0,3 мм на бік зуба.

Шевінгування підвищує точність попередньої обробки зубів приблизно на 1–2 ступеня точності.

За другим способом шевінгування виконується за допомогою спеціального інструменту іншого виду – шевер-рейки (рис. 19.15, *а*), який містить в собі окремі зуби з канавками, що створюють різальні кромки на боці кожного зуба. В процесі обробки стіл верстата із закріпленою на ньому шевером-рейкою має зворотно-поступальний рух. Як і звичайний (дисковий) шевер, шевер-рейка виготовляється з похилими зубами. Для обробки зубчастих коліс з прямим зубом; для випадку обробки зубчастих коліс з косим зубом (з кутом нахилу приблизно 15°) шевер-рейка має прямі зуби, розташовані перпендикулярно до осі. В тому й іншому випадку утворюється зубчасте зчеплення з оброблюваним зубчастим колесом. Обробка одного зубчастого колеса виконується приблизно за 15–20 подвійних ходів стола.

На рис. 19.15, *б* показана схема, яка пояснює здійснення поздовжнього ковзання зубів шевер-рейки по зубах зубчастого колеса.

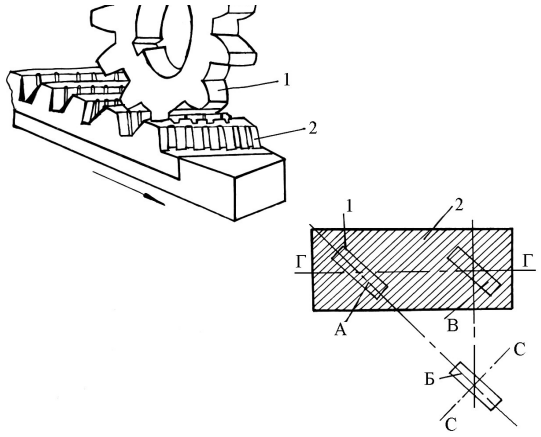


Рис. 19.15. Шевінгуваня шевером-рейкою

Якщо оброблюване зубчасте колесо 1 вільно котити по шевері-рейці 2 з положення А, то воно повинно було б переміститися в положення Б. Але оскільки зубчасте колесо і шевер-рейка представляють собою ніби гвинтову пару з осями, що перетинаються то колесо пересунеться не в положення Б, а в положення В. В результаті створюється відносне ковзання зубів оброблюваного зубчастого колеса і шевера-рейки, яке визначається відрізком між положенням зубчастих коліс Б і В.

При цьому різальні кромки шевера зрізають тонку стружку з поверхні оброблюваних зубів колеса.

Після кожного ходу стола зубчасте колесо переміщується у вертикальному напрямку вниз. Таким чином, здійснюється вертикальна подача в межах 0,025–0,04 мм.

Шевінгування звичайно виконують з мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР), сульфофрезером або веретенним мастилом. З причини високої собівартості інструмента, поганої вимиваємості стружки із зубів шевером-рейки, неможливості

обробки бочкоподібних зубів шевінгування шевер-рейкою не має широкого застосування.

Шевінгування зубів виконується до термічної обробки коліс, що загартовуються. Більшість зубчастих коліс після шевінгування поступає в термічну обробку, яка трохи знижує досягнуту точність та шорсткість поверхні. А все ж таки при виготовленні точних зубчастих коліс шевінгування застосовують до термічної обробки для того, щоб максимально виключити похибки механічної обробки.

Одним з основних переваг шевінгування є можливість обмежитись тільки нарізанням зубів на зубофрезерних верстатах (з наступним шевінгуванням), не вдаючись до чистового нарізання на зубодовбальних верстатах.

ШЛІФУВАННЯ зубів збільшує точність зубчастих коліс, що не загартовуються, а особливо тих, які загартовуються і, як правило, деформуються під час термічної обробки.

Шліфування зубів з евольвентним профілем виконується:

- методом копіювання за допомогою фасонного круга з евольвентним профілем;
- методом обкатування.

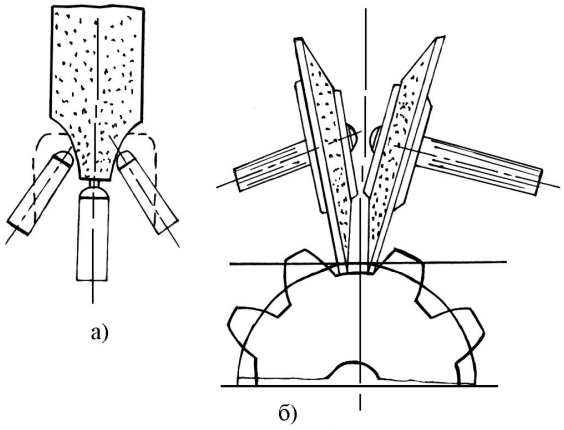


Рис. 19.16. Зубошліфування: а – доводка трьома алмазами шліфувального круга, що працює методом копіювання; б – обробка двома тарілчастими шліфувальними кругами методом обкатування

Верстати, що працюють за методом копіювання, виконують шліфування кругом, профіль якого відповідає западині зубів, аналогічно дисковій модульній фрезі. Круг профілюється особливим копіювальним механізмом за допомогою трьох алмазів (рис. 19.16, *а*). Круг шліфує два боки двох сусідніх зубів. Для зубчастих коліс з різними модулями і кількістю зубів треба мати окремі шаблони для профілювання круга алмазами. Такі верстати застосовуються в масовому і великосерійному, а іноді і в середньосерійному виробництві.

При шліфуванні зубів за методом копіювання у випадку зубчастих коліс з великим числом зубів має місце значне зношування шліфувального круга. Якщо зуби шліфуються послідовно, то між першим і останнім зубами буде одержуватись

найбільша похибка. Для запобігання цього рекомендується повертати зубчасте колесо не на один зуб, а на декілька. Тоді вплив зношування шліфувального круга не буде давати великої похибки між сусідніми зубами. Досяжна цим методом точність – 0,010–0,015 мм.

Верстати, що працюють за методом копіювання, одержали досить значне поширення завдяки значно більшій продуктивності у порівнянні з верстатами, що працюють за методом обкатування. Однак ці верстати дають меншу точність.

Другий метод шліфування зубів – метод обкатування – менш продуктивний, але дає більшу точність (до 0,0025 мм). Шліфування виконується одним або двома кругами.

Поширений спосіб шліфування зубів методом обкатування здійснюється на зубошліфувальних верстатах з двома тарілчастими кругами, розташованими один по відношенню до другого під кутом 30 і 40° або створюючими ніби профіль розрахункового зуба, по якому і відбувається обкатування зубчастого колеса (рис. 19.16, *б*). В процесі роботи зубчасте колесо, що шліфується, переміщається в напрямку, перпендикулярному до своєї осі, одночасно обертаючись навколо цієї осі. Крім цього, зубчасте колесо, що шліфується, має зворотно-поступальний рух вздовж своєї осі, що забезпечує шліфування профілю зуба по всій його довжині.

Для шліфування одне чи декілька зубчастих коліс у наборі закріплюють в оправці, яка закріплюється в центрах бабок, розташованих на столі верстата. Стіл переміщається зворотно-поступально на величину, що дорівнює сумарній ширині зубчастих коліс, збільшену на вхід і вихід шліфувального круга. Автоматичний поворот зубчастого колеса на один зуб відбувається після одно-, двократного проходження зубчастого колеса під шліфувальним кругом. Припуск на шліфування складає 0,1–0,2 мм на товщину зуба і знімається за два чи більше проходів.

Тарілчасті круги шліфують зуби вузькою смужкою у 2–3 мм, тому тиск і нагрівання незначні, що підвищує точність шліфування.

Для запобігання похибок, пов'язаних зі зношуванням шліфувальних кругів, верстати мають спеціальні пристрої для автоматичного їх регулювання.

Верстати для зубошліфування, що працюють методом обкатування двома тарілчастими кругами, мають пристосування, яке компенсує зношування кругів в процесі шліфування і в процесі правки алмазом.

Для остаточної фінішної обробки поверхонь прямих, косих і криволінійних зубів циліндричних зубчастих коліс починають застосовувати хонінгування. Хон виготовляють у вигляді гелікоїдального зубчастого колеса з пластмаси, яка просочена дрібнозернистим абразивом. Зубчасте колесо, що хонінгується у зчепленні з хоном (без зазору), здійснює реверсивне обертання (позмінно в обидві сторони) і зворотно-поступальний рух вздовж своєї осі. Хонінгування всіх зубів зубчастих коліс з модулем 2–3 мм, з кількістю зубів 30–40 виконується за 30–40 с при рясному охолодженні гасом.

Припуск під хонінгування складає 0,02–0,05 мм на бік зуба. Верстати для хонінгування зубів зубчастих коліс у багатьох аналогічні верстатам для шевінгування без пристосування для радіальної подачі.

ПРИТИРАННЯ (ляпінг-процес) широко застосовується для чистової, остаточної фінішної обробки зубів після їх термічної обробки замість шліфування, яке є операцією порівняно малопродуктивною. Притирання отримало велике поширення в тих галузях машинобудування, де потрібно виготовлення точних зубчастих коліс (автомобілебудування тощо).

Процес притирання полягає в тому, що оброблюване зубчасте колесо обертається у зчепленні з чавунними шестернями-притирами, які приводяться в обертання і змащуються пастою, яка містить суміш дрібного абразивного порошку з мастилом. Крім цього, оброблюване зубчасте колесо і притири мають в осьовому напрямку зворотно-поступальний рух одне відносно одного. Такий рух прискорює процес обробки і підвищує її точність. В основному рух в осьовому напрямку надається зубчастому колесу, що притирається.

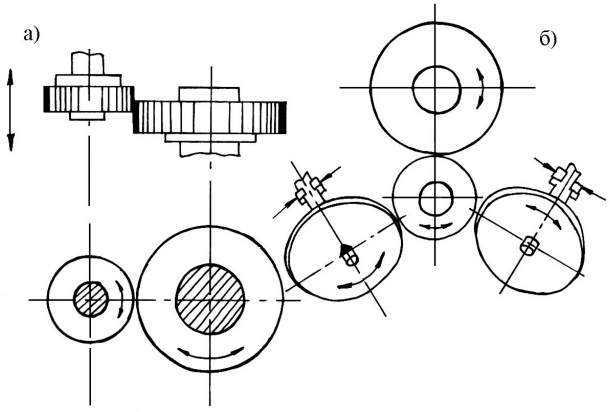


Рис. 19.17. Схеми притирання зубців циліндричних зубчастих коліс:
а – з паралельними осями притирів; б – з осями притирів, що перетинаються

Притиральні верстати виготовляються з паралельними осями притирів (рис. 19.17, *а*) і з осями притирів, що перетинаються (рис. 19.17, *б*). Найбільш поширені притиральні верстати, що працюють з осями притирів, що перетинаються, які встановлюють під різними кутами. Один притир часто встановлюється паралельно осі оброблюваного зубчастого колеса. При такому розташуванні притирів зубчасте колесо працює ніби у гвинтовій парі, і шляхом додаткового осьового переміщення зубчастого колеса, що притирається, притирання відбувається рівномірно по всій боковій поверхні зуба. Зубчасте колесо, що притирається одержує обертання позмінно в обидві сторони для рівномірного притирання обох сторін зуба, а необхідний тиск на боковій поверхні зубів під час притирання створюється гідравлічними гальмами, які діють на шпинделі притирів.

Притирання надає поверхні високої якості, воно згладжує нерівності та шорсткість і надає дзеркального блиску поверхні, значно зменшуючи шум і збільшуючи плавність роботи зубчастих коліс. Притирання дає кращу за якістю поверхню зубів, ніж шліфування, але за умови правильного виготовлення зубчастого колеса, оскільки притиранням можна виправляти лише незначні похибки. За наявності значних похибок зубчасті колеса необхідно спочатку шліфувати, а потім притирати.

ПРИПРАЦЮВАННЯ зубів відрізняється від притирання тим, що притираються не зубчасте колесо з притиром, а два парних зубчастих колеса, виготовлених для спільної роботи у складеній машині. Припрацювання виконується за допомогою абразивного матеріалу, який прискорює взаємне припрацювання зубчастих коліс і надає їм гладку поверхню.

З вищевикладеного можна зробити висновок, що найбільш продуктивним і раціональним способом одержання точних зубів є шевінгування, що застосовується після нарізання зуба, але до термічної обробки, після якої для виправлення невеликих похибок у профілі і кроці та одержання чистої поверхні зубів доцільно застосовувати притирання і тільки у випадку значної деформації вдаватися до шліфування зубів.

Тому найбільш раціональним треба вважати такий порядок обробки зубчастих коліс:

1) операції, що передують нарізанню зубів;
2) нарізання зубів;
3) шевінгування зубів;
4) термічна обробка;
5) притирання зубів.

19.2.4 Деякі особливості нарізання та фінішної обробки конічних зубчастих коліс

Нарізання.

1. Фрезерування дисковими і пальцевими модульними фрезами за методом копіювання при виготовленні коліс з прямим, тангенціальним і криволінійним зубом на спеціальних або на універсально-фрезерних верстатах.

Дискові фрези (рис. 19.18) використовують для чорнового нарізання прямозубих коліс в умовах великосерійного виробництва і для чистового нарізання невеликих коліс невисокої точності в одиничному виробництві. Підбирають необхідну дискову фрезу (модульну) зі стандартного ряду фрез, що застосовуються для нарізання звичайних циліндричних коліс, за приведеним числом зубів Z_1 і за розрахунковим модулем $m_{сер}$:

$$Z_1 = Z/\cos\varphi; \quad m_{сер} = m(1 - 0{,}5b/L),$$

де Z – число зубів колеса, що нарізається;

φ – кут ділильного конуса;

m – зовнішній модуль колеса, що нарізається;

b – ширина зубчастого вінця;

L – середня конічна відстань.

Точність методу копіювання – 9–10-й ступінь, шорсткість бокової поверхні зубів – R_a10…5 мкм.

2. Стругання двома різцями за методом обкатування застосовують для нарізання конічних коліс (діаметром 50…1000 мм, $m \le 20$ мм) з прямими і косими зубами.

Нарізання зубів виконують на спеціальних зубострогальних верстатах в умовах одиничного і серійного виробництв.

Схема процесу показано на рис. 19.19.

Суть процесу полягає у відтворенні зчеплення конічного колеса 1 з плоским зубчастим колесом 2 (рис. 19.19, *а*). При цьому профіль зуба плоского колеса відтворюється за допомогою зубострогальних різців. Зуб колеса, що нарізається, обробляють два різці (3, 4) (рис. 19.19, *б*). Різці закріплені на повзунах планшайби 5 і здійснюють зворотно-поступальний (головний) рух. Кожен різець обробляє один бік зуба. Планшайба 5, на якій змонтовано різці, представляє собою плоске (уявне) колесо, а оброблюване колесо встановлене так, що вершина його конуса А збігається з центром плоского колеса і поверхня його початкового конуса дотикається до

поверхні початкового конуса плоского колеса. Планшайба 5 і заготовка 1 обертаються навколо своїх осей (2, 6). При цьому кінематично забезпечується обкатування без ковзання початкового конуса заготовки по початковій площині уявного колеса. В результаті цього руху (обкатувального) прямолінійна кромка різця обробляє бокову поверхню зуба. Після обробки одного зуба ділильний механізм верстата провертає заготовку і обробляється другий зуб.

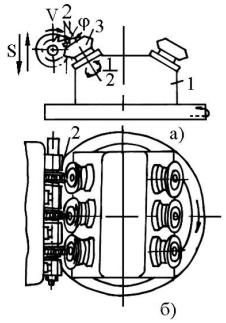


Рис. 19.18. Схема одночасного нарізання конічних коліс набором дискових фрез: 1 – багатомісний поворотний пристрій; 2 – дискова фреза; 3 – колесо, що нарізається

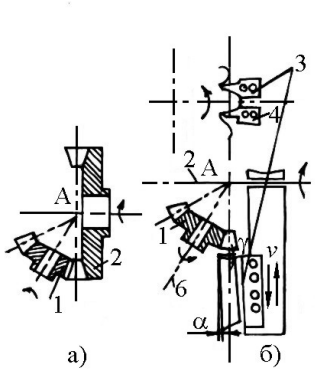


Рис. 19.19. Схема нарізання прямозубого конічного колеса зубострогальними різцями

Колеса з m > 3,5 мм нарізають за декілька робочих ходів. Для коліс з m > 5 мм попереднє нарізання зубів доцільно виконувати шляхом фрезерування дисковими фрезами, а остаточне – струганням. Це дозволяє у 1,5–2 рази скоротити машинний час і зберегти точність зубострогальних верстатів. Стругання двома різцями за методом обкатування забезпечує 7–8-й ступінь точності та шорсткість поверхні зубів R_a = 1,25…2,5 мкм.

3. Зубофрезерування за методом обкатування характеризується більш високою продуктивністю у порівнянні із зубострганням і застосовується в основному в серійному виробництві. Обробку здійснюють двома дисковими фрезами 1 і 2 (рис.19.20, *а*), розташованими в одній западині зубів оброблюваного колеса 4. Фрези

нахилені одна до одної таким чином, що різці 5 (рис. 19.20, *в*) однієї з них входять в проміжки між різцями 6 другої. Різці кожної фрези обробляють один бік зуба колеса. Під час обробки фрезам надають обертання, а також рух обкатування разом з оброблюваним колесом. У верстатному зчепленні різці дискових фрез відтворюють один зуб відтворюючого (плоского) колеса 3 (рис. 19.20, *а*), і при обкатуванні, займаючи послідовні положення від початку різання до його кінця, вони імітують зчеплення оброблюваного і відтворюючого коліс. Конічні колеса, оброблені цим методом, мають октоїдний профіль і взаємозамінні з колесами, одержаними методом стругання.

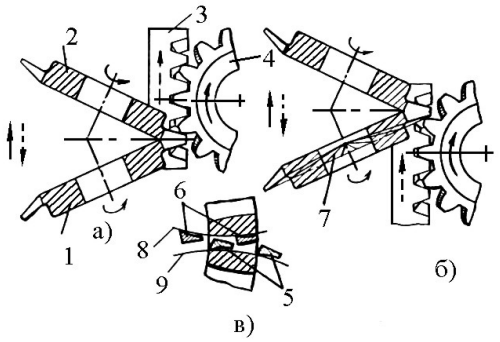


Рис. 19.20. Схеми нарізання зубів конічних коліс двома дисковими фрезами

Діаметри дискових фрез, достатньо великі, що дозволяє виконувати обробку зуба без поздовжнього переміщення інструмента. Дно западини зуба має незначну ввігнутість, проте це не знижує експлуатаційні характеристики прямозубої конічної передачі.

Поздовжня бочкоподібність зубів забезпечується конструкцією різального інструменту. Різальні кромки розташовують під кутом до осі обертання фрези. В залежності від бочкоподібності кут піднутрення дорівнює 1,5–5°. При обертанні різальні кромки обох фрез описують поверхню конуса 7 (рис. 19.20, *б*) і, переміщаючись по криволінійних траєкторіях 8 і 9 (рис. 19.20, *в*), зрізають метал на кінцях зуба більше, ніж в середині.

Вітчизняна промисловість випускає верстати: 5С237; 5С267П; 5С277П, що працюють двома дисковими фрезами. На цих верстатах можна здійснювати зубонарізання конічних коліс методами врізання, обкатування і комбінованим. Досяжна точність – 7–8-й ступінь.

Прямозубі конічні колеса з модулем понад 5 мм обробляють за дві операції: чорнову і чистову. Чорнову обробку виконують методом врізання, а чистову – методом обкатування. Колеса з модулем до 5 мм обробляють за одну операцію з суцільної заготовки методом обкатування чи комбінованим: спочатку врізання, потім обкатування.

4. Нарізання зубів круговою протяжкою є найбільш продуктивним методом виготовлення прямозубих конічних коліс невеликого діаметра. При цьому методі за один оберт протяжки, діаметр якої більше 500 мм, виконується чорнове і чистове прорізання западини, а також зняття фасок з кромок зубів. В процесі циклу протяжка обертається і

поступово переміщується від точки O_1 (рис. 19.21) до точки O_2 і навпаки (рух подачі). Ділильний поворот колеса на один зуб відбувається у вихідному положенні протяжки – на тому секторі, де нема різців. Отриманий при цьому профіль зуба колеса може мати як пряму, так і бочкоподібну форму. Так нарізають конічні колеса у масовому виробництві на спеціальних автоматах і напівавтоматах.

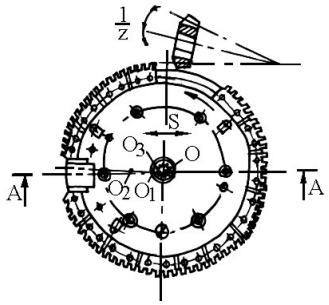


Рис. 19.21. Схема нарізання конічних коліс круговою протяжкою

5 Фрезерування зубів конічних коліс різцевими головками застосовують для криволінійних (кругових) зубів (рис. 19.22). В цьому випадку за відтворююче колесо приймають плоске колесо 1, зуби якого спрямовані по дузі кола радіусом r. Відтворюючим колесом в цьому випадку є планшайба з різцевою головою 3, що обертається навколо своєї осі O_1 (головний рух I). В процесі обробки заготовка 2 обкатується по відтворюючому колесу, при цьому вершина ділильного конуса заготовки збігається з центром О плоского відтворюючого колеса 1. При нарізанні зубів планшайба з обертаючою різцевою головкою 3 одержує повільний обертальний рух II навколо осі О плоского відтворюючого колеса. Заготовка одержує обертання III навколо своєї осі, кінематично зв'язане з обертанням люльки (відтворюючого колеса), за час оберту заготовки на один зуб люльки обертається навколо своєї О на один зуб відтворюючого колеса. Після обробки кожної западини заготовка відводиться від різцевої головки і повертається на один чи декілька зубів, після чого цикл повторюється.

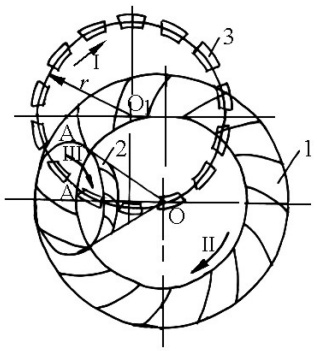


Рис. 19.22. Схема нарізання конічного колеса з круговими зубцями

Зубонарізна різцева головка (рис. 19.23) для нарізання конічних коліс з круговими зубами складається з корпусу 1, в пазах якого за допомогою гвинтів 9 закріплюються зовнішні 6 і внутрішні 5 різці. Точне встановлення і регулювання різців 2 відносно центра головки здійснюється за допомогою регульованих клинів 3, прокладок 4 і 8. Регулювання клинів виконується гвинтами 7. Встановлення зовнішніх і внутрішніх різців (позмінно) повинно забезпечувати таке положення, щоб в момент різання різальні кромки різців відтворювали собою зуб плоского колеса. Обробку виконують на спеціальних верстатах за методом копіювання (врізання) або обкатування. Конічні колеса відносно високої точності з $m \le 2{,}5$ м нарізають за один робочий хід. При підвищених вимогах до точності і для коліс з $m < 2{,}5$ мм застосовують чорнову і чистову обробку.

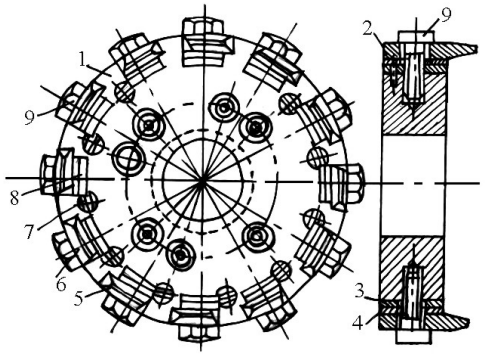


Рис. 19.23. Головка для нарізання конічних коліс з круговими зубцями

При чорновій обробці метод копіювання застосовують головним чином для нарізання зубів колеса, а метод обкатування – для чорнового нарізання зубів шестерні. Припуск на сторону зуба, що залишають для чистового нарізання, складає 0,25…0,5 мм.

За способом чистового нарізання конічні передачі з криволінійним зубом поділяють на обкатні та напівобкатні. У першому випадку зуби колеса і шестерні нарізають за методом обкатування, при цьому боковий профіль зубів одержується криволінійним. У другому випадку колесо нарізають за методом копіювання, отримуючи прямобічний профіль зуба, а шестерню нарізають методом обкатування, створюючи криволінійний профіль зуба. Час чистового нарізання колеса методом копіювання у 3–5 разів менший, ніж час нарізання методом обкатування, а якість передач практично однакова. В цьому полягає перевага напівобкатних передач. При чистовому зубонарізанні обидва боки зубів колеса і шестерні можуть оброблятися різцевою головкою одночасно чи кожний бік зубів окремо. В останньому випадку для обробки кожного боку зуба потрібно мати окреме налагодження верстата.

Фінішна обробка..

Обкатування – загартування – притирання, або обкатування – загартування – шліфування – притирання.

Після термічної обробки виконується вибір пар ЗК за сумарною площиною контакту і шуму, потім притирання.

Шліфування виконується на спеціальних зубошліфувальних верстатах. В залежності від конструкції верстата при шліфуванні прямозубих конічних коліс

можлива обробка одним кругом окремо кожного боку зуба чи двома кругами одночасно двох бокових поверхонь зуба. Цю операцію можна виконувати на зубошліфувальних верстатах 5870, 5870М, а також на деяких іноземних верстатах. Шліфування виконується дисковим або тарілчастими кругами діаметром 150…270 мм. Для шліфування зубів прямозубих конічних коліс застосовують також спеціальне зубошліфувальне пристосування, яке встановлюється на зубострогальні верстати, наприклад 526. При цьому потрібна точність досягається методом обкатування, коли зуби плоского відтворюючого колеса виконуються кромками шліфувальних кругів. Припуск, що залишається на шліфування 0,05…0,10 мм на бік зуба знімають за 3…4 робочих ходи. Для шліфування конічних коліс з криволінійною формою зуба, m = 2,5…15 мм застосовують, наприклад, спеціальні зубошліфувальні верстати 5871, 5872. За кінематичною структурою ці верстати аналогічні верстатам для нарізання кругових зубів. Однак привід інструмента має більшу частоту обертання, оскільки шліфування виконують спеціально спрофільованими чашковими кругами зі швидкістю різання, в декілька десятків разів більшу за швидкість різання різцевими головками. Номінальний діаметр шліфувального круга дорівнює діаметру різцевої головки.

При однобічному шліфуванні зубів, що застосовується у дрібносерійному виробництві, обробку шестерні та колеса виконують однаковими кругами. Перед обробкою партії шестерень на пробній шестерні по фарбі припасовують форму контакту зі сполучуваним колесом по ввігнутому, а потім і випуклому боці зуба. Припасування форми плями контакту здійснюється так само, як і у випадку нарізання зубів різцевою головкою шляхом зміни кута встановлення ексцентрикового барабана планшайби і передаточного відношення гітари обкатування.

Одночасним шліфуванням обох боків зубів (метод постійних встановлень) досягається більш висока продуктивність. Воно застосовується у великосерійному виробництві.

Зубошліфування конічних коліс з криволінійним зубом забезпечує досягнення 4–5-го ступеня точності.

19.3. Технологія виготовлення деталей черв’ячних передач

19.3.1. Службове призначення, конструктивні різновиди і технічні вимоги

За службовим призначенням черв’ячні передачі поділяються на кінематичні і силові. Кінематичні передачі використовують в різних механізмах, в ділильних ланцюгах зуборізних і інших металорізальних верстатах для досягнення високої точності відносного повороту.

В конструкціях кінематичних передач на відміну від силових в ряді випадків передбачається можливість регулювання точності відносного положення черв’яка і колеса.

Силові черв’ячні передачі застосовують в різноманітних редукторах і коробках швидкостей для передачі крутного моменту при великому передатному відношенні.

В машинобудуванні застосовуються циліндричні і глобоїдні черв’ячні передачі. Циліндричні передачі мають черв’як, осьовий переріз якого уявляє собою рейку з

прямолінійними або криволінійними боковими сторонами (рис. 19.24, *а*).

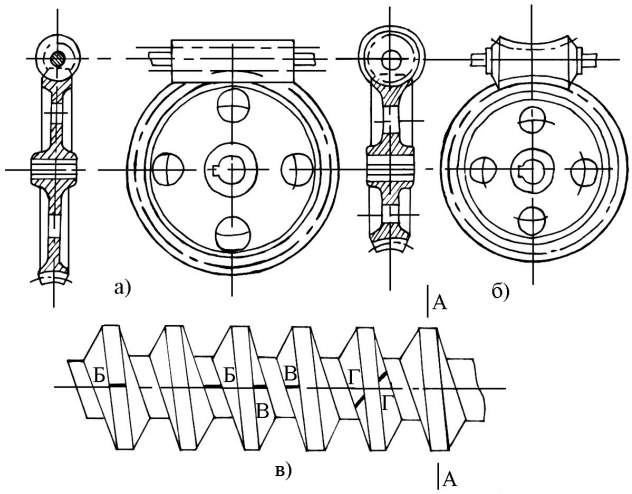


Рис. 19.24. Черв'ячна передача: а) циліндрична; б) глобоїдна; в) перерізи циліндричних черв'яків; АА – поперечне, ББ – перпендикулярне до напрямку западини, ГГ – перпендикулярне до напрямку витка

Глобоїдні передачі мають черв'як, осьовий переріз якого уявляє кругову рейку з прямолінійними боковими сторонами (рис. 19.24, *б*).

Циліндричні передачі за формою гвинтової поверхні поділяються на такі види.

1. *Архімедова черв'ячна передача* має черв'як, у якого профіль бокової поверхні витка в поперечному перерізі АА (рис. 19.24, *в*) уявляє спіраль Архімеда. В осьовому перерізі ББ архімедів черв'як має прямолінійний профіль, а в перерізі ГГ, перпендикулярному до напрямку витка, – криволінійний.

2. *Евольвентна черв'ячна передача* має черв'як, у якого профіль бокової поверхні витка в поперечному перерізі АА має форму евольвенти. В осьовому перерізі ББ і перерізі, перпендикулярному до напрямку витка ГГ, евольвентний черв'як має криволінійний профіль. Прямолінійний профіль витка черв'яка одержується в перерізі площиною, дотичною до основного циліндра.

3. *Конволютна передача* має черв'як, у якого профіль бокової поверхні витка в поперечному перерізі АА уявляє подовжену евольвенту (конволюту). В перерізі, перпендикулярному до напрямку витка ГГ або западини ВВ, конволютний черв'як має прямолінійний профіль, а в осьовому ББ – криволінійний.

4. *Нелінійні черв'яки* мають у всіх перерізах криволінійний профіль.

Для зменшення тертя, скорочення зношування і можливості заїдання черв'ячної пари робоча поверхня витків черв'яка повинна мати високу твердість і чистоту, а матеріал черв'ячного колеса повинен мати хороші антифрикційні властивості.

Черв'яки швидкохідних високонавантажених передач виготовляють з якісних вуглецевих сталей марок 40, 45 або легованих сталей марок 40Х, 40ХН і ін. В цьому випадку застосовують нагрівання поверхні під загартування струмами високої частоти або полум'ям, що забезпечує твердість робочих поверхонь HRC48-57.

Найкращі результати одержують при використанні сталей, що містять вуглецю

від 0,15 до 0,20 % і піддаються цементації, це сталі марок 15Х, 15ХА, 20Х, 20ХНВА, 20ХВ.

Черв'яки менш відповідальних передач, для яких достатня твердість НВ<270 виготовляють з нормалізованих або поліпшених сталей.

Глобоїдні черв'яки виготовляють зі сталей марок 35ХМА, 33ХГН.

Для виготовлення черв'ячних коліс у відповідальних передачах з великими швидкостями ковзання (v>5 м/с) застосовують бронзи Бр. ОБ 10-1. БРОНФ, при менших швидкостях застосовують бронзу Бр. АЖ9-4, яка має більш високі механічні властивості і гірші антифрикційні. Черв'ячні колеса передач з малими швидкостями (v<2 м/с), до габаритів і ККД яких не ставляться високі вимоги, виготовляють з чавуну СЧ 21-40, СЧ 15-32.

За конструкцією черв'яки поділяються на два види: черв'яки – вали, які знайшли найбільше поширення, і насадні черв'яки – втулки. Черв'ячні колеса бувають суцільними і складеними; у останніх маточина і вінець з різних матеріалів.

Державним стандартом передбачено 12 ступенів точності на черв'ячні передачі, проте норми точності є для ступенів від 3 до 9-го.

Кінематичні передачі відповідають 3–6-му, а силові черв'ячні передачі 5–9-му ступеню точності. Для відповідного ступеня точності встановлено норми точності на черв'яки, черв'ячні колеса і на складання передачі.

Ступінь точності силових передач залежить від колової швидкості черв'яка.

Базування черв'ячних коліс здійснюється також, як і базування одновінцевих зубчастих коліс, у яких ℓ/d<1.

Базування черв'яків – валів – аналогічно базуванню валів.

Базування черв'яків – втулок – аналогічно базуванню втулок, у яких ℓ/d>1.

19.3.2. Технологія виготовлення черв'яків.

У якості заготовок для черв'яків у великосерійному і масовому виробництві використовують штамповку, а в дрібносерійному і одиничному – пруток.

Нижче наведено технологічний маршрут обробки черв'яка – вала 7-го ступеня точності у великосерійному виробництві (заготовка – штамповка).

1. Фрезерування торців і зацентрування з двох боків.
2. Попередня токарна обробка по контуру з одного і другого боку.
3. Чорнове нарізання витків черв'яка.
4. Термічна обробка (високий відпуск).
5. Чистова токарна обробка зовнішніх поверхонь
6. Чистове нарізання витків черв'яка.
7. Фрезерування шпонкового паза.
8. Попереднє шліфування зовнішніх поверхонь під цементацію.
9. Попереднє шліфування профілю витків черв'яка під цементацію.
10. Термічна обробка (цементація, загартування).
11. Шліфування центрових отворів.
12. Напівчистове шліфування зовнішніх поверхонь і торців.
13. Напівчистове шліфування профілю витків черв'яка.
14. Термічна обробка (старіння).
15. Друге напівчистове шліфування зовнішніх поверхонь і торців.

16. Друге напівчистове шліфування профілю витків черв'яка.
17. Термічна обробка (старіння).
18. Доведення центрових отворів.
19. Чистове шліфування зовнішніх поверхонь і торців на круглошліфувальних верстатах особливо високої точності класу А.
20. Чистове шліфування профілю витків черв'яка.
21. Миття.
22. Контроль.

На перших п'яти операціях черв'як обробляють як звичайний вал.

При виготовленні черв'яка – втулки спочатку оброблюють начорно і начисто отвір і торець і протягують шпонкову канавку, а потім одержану таким чином втулку напресовують на оправку і оброблюють за тією ж схемою, що і черв'як – вал.

Маршрут черв'яка силової передачі відрізняється меншим числом операцій шліфування.

19.3.3. Методи нарізання і шліфування черв'яків.

Гвинтова поверхня циліндричних черв'яків у залежності від серійності може бути нарізана за допомогою профільних різців на токарно-гвинторізних верстатах або за допомогою дискових фрез на універсально-фрезерних, різьбофрезерних і спеціальних черв'ячно-фрезерних і довбальних верстатах.

Для зменшення похибки профілю витка остаточне нарізання гвинтової поверхні рекомендується виконувати різцями з прямолінійною різальною кромкою. Потрібний профіль витка забезпечується при цьому за рахунок відповідного установлення різця.

Для нарізання архімедова черв'яка різець з прямолінійним профілем установлюють так, щоб його різальні кромки лежали в осьовій площині черв'яка (рис. 19.25, *а*). Черв'яки з малим кутом підйому гвинтової лінії нарізають двобічними різцями. При великих кутах підйому гвинтової лінії провадять нарізну обробку лівого і правого боку витка однобічними різцями.

Для нарізання евольвентного черв'яка різець з прямолінійним профілем установлюють так, щоб його різальні кромки розташовувались у площині, що є дотичною до основного циліндру (рис. 19.25, *б*).

Для нарізання конволютного черв'яка різець з прямолінійним профілем установлюють так, щоб його різальні кромки відповідно потрібної геометрії черв'яка лежали в площині, яка є нормальною до напрямку витка або напрямку западин (рис. 19.25, *в*).

$$r_o = \frac{Z_1 m_{oc}}{2\pi tq\alpha},$$

де r_o – радіус основного циліндра;

Z_1 – число заходів;

m_{oc} – модуль в осьовому перерізі;

$\alpha = \lambda_0$.

В серійному і масовому виробництві циліндричні черв'яки нарізають дисковими фрезами. Для нарізання фрезу установлюють так, щоб її вісь обертання була нахилена на кут підйому витка черв'яка λq, а середня точка А розташовувалась на одній висоті з віссю черв'яка (рис. 19.26). При такому установленні фрези черв'як

профілюється у нормальному перерізі по западині. Тому для нарізання архімедова, евольвентного і нелінійного черв'яків фреза повинна мати криволінійний профіль, а для нарізання конволютного черв'яка – прямолінійний. Черв'яки з $m \leq 10$ мм фрезерують за один прохід, а з $m > 10$ мм – за два проходи, знімаючи на першому проході до 0,8 повної глибини западани.

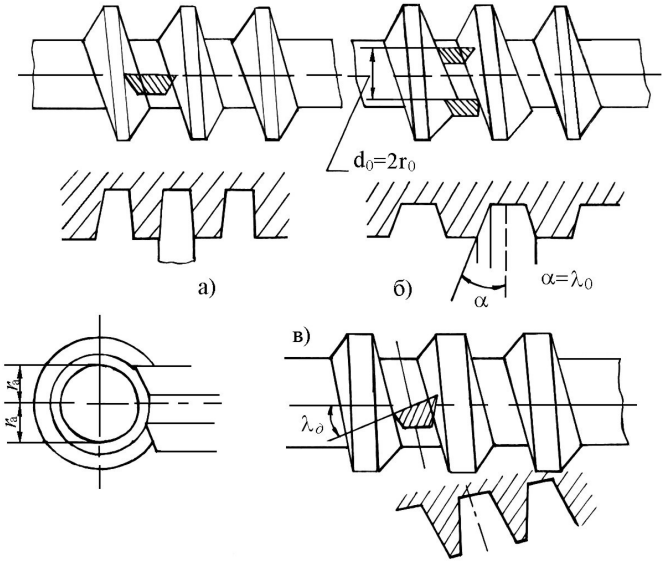


Рис. 19.25. Схема нарізання різцем черв'яків: а) архимедова; б) евольвентного; в) конволютного

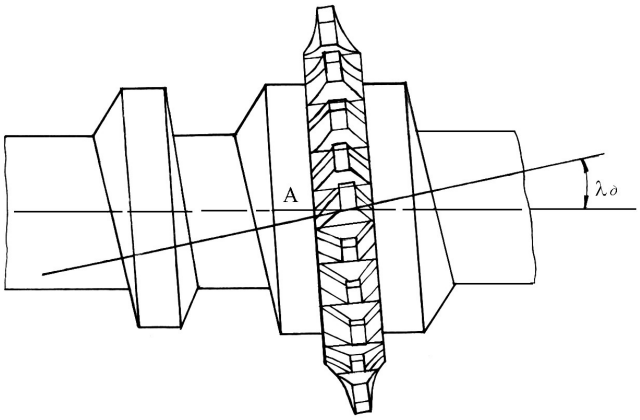


Рис. 19.26. Схема нарізання циліндричного черв'яка дисковою фрезою

Фрезерування дисковими фрезами в основному застосовують для чорнового нарізання витків черв'яка. В цьому випадку використовують фрези з прямолінійним

профілем, залишаючи припуск на чистову обробку, який повинен перевищувати похибку профілю черв'яка, яка одержується при чорновому фрезеруванні.

Пальцеві фрези використовують для нарізання крупномодульних черв'яків в малосерійному і індивідуальному виробництві. Фрезу установлюють так, щоб її вісь обертання перетинала вісь черв'яка під кутом 90°.

Нарізання черв'яків черв'ячними фрезами за методом обкатки провадять на універсальних зубофрезерних і шліцефрезерних верстатах. Цим методом нарізають евольвентні черв'яки з великим кутом підйому витка, для чого використовують черв'ячні фрези з прямолінійною різальною кромкою

Цей метод забезпечує високу продуктивність, оскільки всі витки багатозаходних черв'яків нарізають одночасно, проте, точність, що при цьому одержується, невисока (8–9-й ступінь), тому його застосовують в основному на попередніх операціях.

Нарізання черв'яків круглим довб'яком у великосерійному і масовому виробництві провадять на спеціальних верстатах або універсальних зубофрезерних верстатах оснащених протяжним супортом (рис. 19.27). Черв'як і довб'як обертаються, їх осі обертання схрещуються під прямим кутом. Одночасно відбувається відносне переміщення довб'яка уздовж осі черв'яка. Цим методом нарізають архімедові і евольвентні черв'яки.

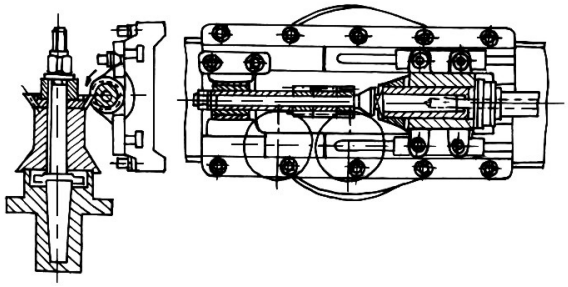


Рис. 19.27. Схема нарізання черв'яків довб'яками

Для нарізання черв'яків з кутом підйому витка менш 5–6° використовують прямозубі довб'яки, при куті підйому більше 6° – косозубі.

Кут підйому гвинтової лінії на ділильному циліндрі довб'яка повинен бути рівним куту підйому на ділильному циліндрі черв'яка. Тому треба багато довб'яків.

Цей метод забезпечує високу точність і велику продуктивність.

В умовах великосерійного і масового виробництва черв'яки можна нарізувати кільцевими головками на токарних верстатах (вихрове нарізання) аналогічно нарізанню нарізок. Для нарізання архімедових і евольвентних черв'яків в кільцевих різцевих головках застосовують різці з відповідним криволінійним профілем, а для нарізання конволютних черв'яків – з прямолінійним.

Шліфування черв'яків провадять дисковими, чашковими і пальцьовими кругами.

Дисковими кругами шліфують архімедові, евольвентні і нелінійні черв'яки. При двосторонньому шліфуванні дисковим кругом вісь обертання круга, як при фрезеруванні, нахилена до осі черв'яка під кутом підйому витка на ділильному циліндрі λq.

Для шліфування архімедових і евольвентних черв'яків при такому установленні

круг повинен мати криволінійний профіль, який одержують шляхом правки по шаблонах, профіль шаблону розраховується так же, як і для дискових фрез.

При малих кутах підйому архімедові черв'яки невисокої точності 8–9 й ступінь точності) можна шліфувати прямобічним кругом.

Похибка, профілю, що при цьому виникає, зі зменшенням діаметру круга зменшується.

При однобічному шліфуванні евольвентних черв'яків дисковим кругом з прямолінійним профілем (рис. 19.28) твірна круга повинна збігатись з твірною черв'яка.

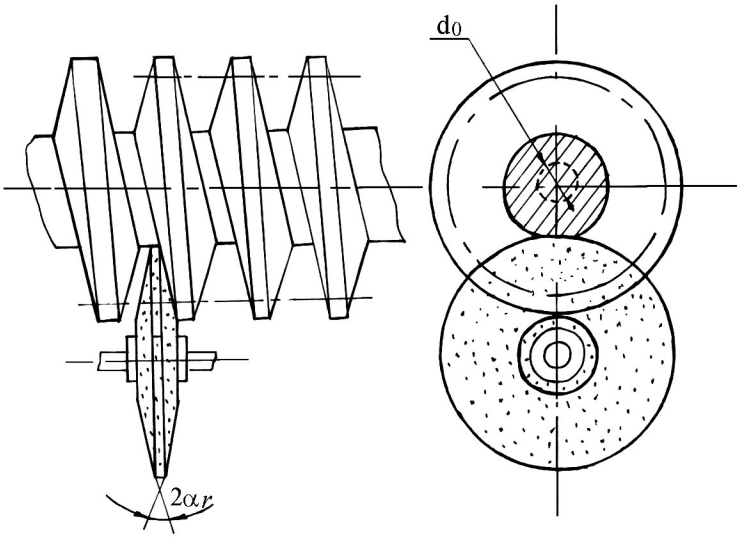


Рис. 19.28. Схема шліфування евольвентного черв'яка одним боком круга

Для шліфування евольвентного черв'яка плоскою стороною дискового круга вісь круга повертають в горизонтальній і вертикальній площинах.

Чашкові круги використовують для однобічного шліфування евольвентних і архімедових черв'яків. Схема установлення круга дана на рис. 19.29. Чашкові круги забезпечують краще наближення до архімедового черв'яка, ніж дискові круги того ж діаметру. Точна архімедова поверхня одержується при криволінійному профілі круга.

Пальцеві круги застосовують як для однобічного, так і для двобічного шліфування крупномодульних черв'яків ($m \geq 15$ мм). Однобічне шліфування застосовують при обробці евольвентних черв'яків. Круг установлюють так, що його прямолінійна твірна збігається з прямолінійною твірною евольвентної гвинтової поверхні.

При двобічному шліфуванні архімедових і евольвентних черв'яків пальцевий круг повинен мати криволінійний профіль; вісь круга повинна перетинати вісь черв'яка під прямим кутом (рис. 19.30).

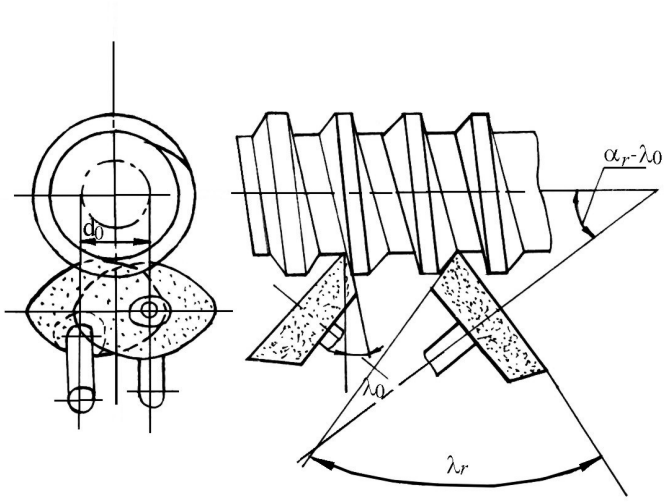


Рис. 19.29. Схема шліфування евольвентного черв'яка чашковим кругом

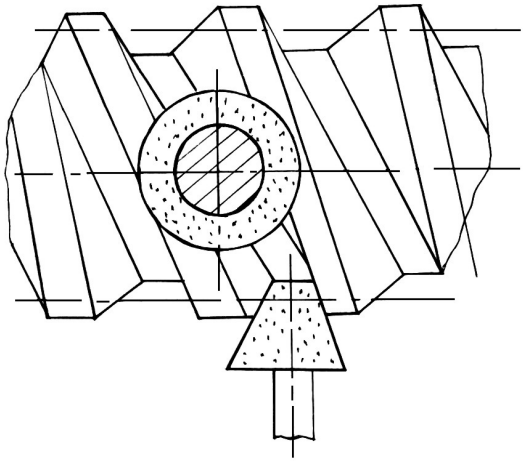


Рис. 19.30. Схема шліфування черв'яка пальцевим кругом

19.3.4 Технологія виготовлення черв'ячних коліс.

У якості заготовок черв'ячних коліс використовують виливки і прокат. При великій серійності виробництва застосовують більш точні методи одержання виливок – лиття під тиском, лиття в кокіль, коркові форми. Для складених коліс невеликого розміру застосовують біметалеві заготовки виливки. Попередньо відлиту маточину установлюють в форму і на неї центробіжним способом заливають вінець. При виготовленні особливо крупних коліс заготовки виливають з попередньо формованими зубами.

Нижче наведено типовий технологічний маршрут черв'ячного ділильного колеса ∅200 – 800 мм; m=2÷6 мм 4-го ступеня точності.

1. Попередня (чорнова) токарна обробка з одного боку.
2. Попередня токарна обробка зовнішнього вінця, базового торця і отвору з другого боку.
3. Контроль твердості по зовнішньому діаметру вінця не менше ніж в 5–7 місцях.
4. Напівчистова токарна обробка отвору і торця.
5. Чорнове фрезерування зубів.
6. Штучне старіння.
7. Чистова токарна обробка зовнішніх і внутрішніх поверхонь з одного боку.
8. Обробка кріпильних і технологічних отворів.
9. Чистова токарна обробка привалочних поверхонь і базового отвору з другого боку.
10. Складання черв'ячного колеса з планшайбою стола.
11. Чистове фрезерування радіусної виточки.
12. Фрезеруваня зубів під наступне шевінгування.
13. Шевінгування черв'ячного колеса.
14. Зачищення заусенців.
15. Миття.
16. Контроль.

19.3.5. Методи нарізання і викінчування зубів черв'ячних коліс.

При нарізанні черв'ячних зубчастих коліс вісь фрези установлюється перпендикулярно осі оброблюваного колеса і точно по центру її ширини. Нарізувати черв'ячні зубчасті колеса можна: 1) способом радіальної подачі; 2) способом тангенціальної подачі; 3) комбінованим способом.

Нарізання черв'ячних коліс способом радіальної подачі більш поширено, ніж інші способи. При цьому способі (рис. 19.31) фреза 1 та нарізуване зубчасте колесо 2 обертаються; швидкості обертання їх розраховуються так, щоб за один оберт фрези зубчасте колесо повернулося на число зубів, що дорівнює числу заходів черв'яка. На відміну від нарізання циліндричних зубчастих коліс супорт з фрезою стоять на місці, стіл же з закріпленим на ньому нарізуваним зубчастим колесом здійснює горизонтальну подачу S на глибину зуба у напрямку до фрези, тобто в радіальному напрямку.

В зубофрезерних верстатах, що працюють за методом обкатки, призначених для нарізання зубчастих коліс великого діаметру, горизонтальна подача здійснюється не столом з заготовкою, а стояком, що несе супорт з фрезою.

Спосіб радіальної подачі застосовується головним чином для нарізання черв'ячних зубчастих коліс однозаходних і рідше – двозаходних.

Спосіб тангенціальної подачі застосовується головним чином для нарізання черв'ячних коліс до багатозаходних черв'яків; він виконується за допомогою спеціального супорта, який дозволяє здійснювати тангенціальну (тобто по дотичній лінії до зубчастого колеса) подачу фрези (рис. 19.32).

Нарізання зубчастого колеса закінчується, коли всі зуби фрези перейдуть за вісь зубчастого колеса. При нарізанні способом тангенціальної подачі одержується більш правильний профіль, але собівартість фрези значно вище нормальної і, як сказано,

потрібна наявність спеціального супорта.

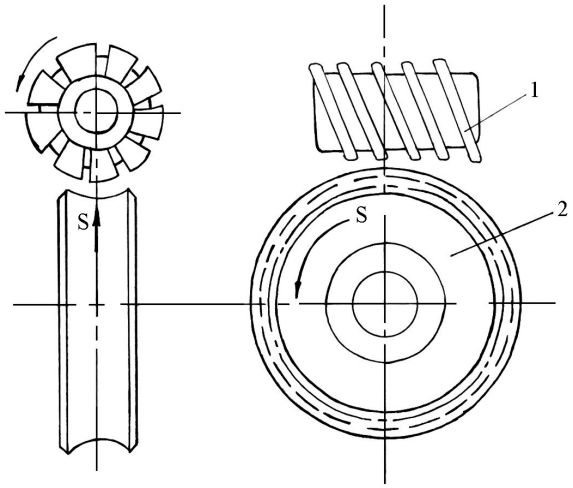


Рис. 19.31. Зубонарізання черв'ячних зубчастих коліс черв'ячними фрезами способом радіальної подачі

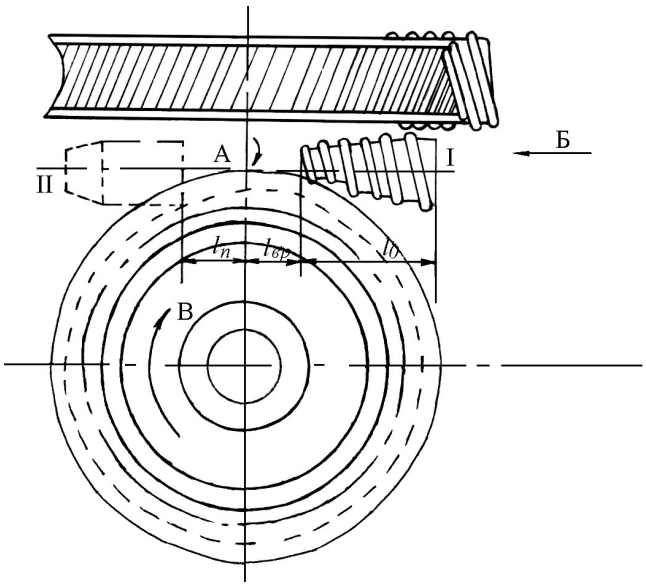


Рис. 19.32. Зубонарізання черв'ячних зубчастих коліс черв'ячними фрезами способом тангенціальної подачі

Комбінований спосіб полягає в застосуванні радіальної подачі на етапі основного зйому і тангенціальної подачі при викінчуванні колеса, тобто спочатку колесо нарізають з використанням радіальної: а потім тангенціальної подачі.

В умовах малосерійного виробництва і для коліс крупного модуля зуби нарізають за допомогою летючих різців за способом тангенціальної подачі. Чорнове нарізання западин колеса можна провадити також на універсально - фрезерних верстатах з ділильною головкою дисковими фрезами.

Шевінгування є викінчувальною операцією при обробці зубів коліс 6-го і більш високого ступеня точності. У якості інструмента використовують черв'ячні шевери. Шевінгування провадять після фрезерування зубів чи нарізання різцем – літучкою. Шевінгування здійснюється методом радіальної і колової подач. В обох випадках механізм приводу стола не працює і колеса повертаються за рахунок обертання фрези – шевера. Після обробки одного боку зуба напрямок обертання шевера змінюється і провадиться шевінгування другою частиною шевера. Припуск під шевінгування залишають у залежності від модуля колеса від 0,1 до 0,6 мм на товщину зуба.

Для досягнення високої точності сполучення профілів колеса і черв'яка шліфування черв'ячного шевера і черв'яка провадять на одному й тому ж самому верстаті при однаковому статичному налагодженні. Всі основні розрахункові параметри у шевера приймаються таким ж, як у відповідного йому черв'яка.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Сформулюйте службове призначення зубчастих коліс та основні вимоги що до них ставляться.
2. Які матеріали та види заготовок застосовуються для виготовлення зубчастих коліс?
3. Накресліть основні теоретичні схеми базування що застосовуються при виготовленні зубчастих коліс.
4. Складіть типовий технологічний маршрут виготовлення циліндричних зубчастих коліс при $l/d<1$.
5. Складіть типовий технологічний маршрут виготовлення циліндричних зубчастих коліс при $l/d>1$.
6. Складіть типовий технологічний маршрут виготовлення циліндричної вал – шестерні.
7. Складіть типовий технологічний маршрут виготовлення зубчастих конічних коліс.
8. Складіть типовий технологічний маршрут виготовлення конічного колеса – вала.
9. Охарактеризуйте методи токарної обробки зубчастих коліс.
10. Охарактеризуйте найбільш поширені методи обробки зубів зубчастих коліс.
11. Охарактеризуйте найбільш поширені методи чистової обробки та викінчування зубів зубчастих коліс.
12. Охарактеризуйте найбільш поширені методи нарізання та викінчування конічних зубчастих коліс.
13. Сформулюйте службове призначення черв'ячних передач та основні вимоги що до них ставляться.
14. Які матеріали та види заготовок застосовуються для виготовлення черв'яків та черв'ячних коліс?
15. Накресліть основні теоретичні схеми базування що застосовуються при виготовленні черв'яків.

16. Накресліть основні теоретичні схеми базування що застосовуються при виготовленні черв'ячних коліс.
17. Складіть типовий технологічний процес виготовлення черв'яків.
18. Складіть типовий технологічний маршрут виготовлення черв'ячних коліс.
19. Схарактеризуйте основні методи нарізання і шліфування черв'яків.
20. Охарактеризуйте основні методи нарізання і викінчування черв'ячних коліс.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.

1. Проектирование технологии. Под редакцией Ю.М.Соломенцева. – М., 1990. – 416 с.
2. Руденко П.А. Раздел 3. Технология изготовления машин. Конспект лекцій. – Чернишов, 1986. – 159 с.
3. Технология машиностроения (специальная часть). Гусев А.А., Ковальчук Е.О., Колосов И.М. и др. М.М. 1986, 480 сторінок.
4. Технология обработки конструкционных материалов. / Под ред. П.Г. Петрухи. М. Высшая школа, 1991.
5. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова, Т. 1. – М., 1985. – 656 с.

Тема 20. Обробка фасонних поверхонь

20.1. Класифікація фасонних поверхонь та методів їх обробки

До фасонних поверхонь відносять такі поверхні, які відрізняються своєю формою від площини, циліндра або конуса.

Всі фасонні поверхні можна поділити на такі групи:

1. Фасонні поверхні обертання (наприклад, фасонна рукоятка).
2. Плоско-прямолінійно-фасонні поверхні (наприклад, прямолінійні фасонні канавки на плоских поверхнях).
3. Плоско-криволінійні фасонні поверхні (наприклад, криволінійні фасонні канавки на плоских поверхнях).
4. Контурно-фасонні поверхні (наприклад, робочі поверхні кулачків).
5. Об'ємно-криволінійні фасонні поверхні (наприклад, лопатки турбін, лопасті пропелерів літаків, фасонні канавки на криволінійній поверхні тощо).
6. Гвинтові поверхні (будь-яка різь).
7. Поверхні зубів зубчастих коліс і евольвентних шліців.

Обробка останніх двох груп поверхонь в даній темі не розглядається.

Методи обробки фасонних поверхонь можна поділити на дві групи:

1) обробка фасонним інструментом, який має профіль оброблюваної поверхні;
2) обробка нормальним інструментом, якому надається криволінійний рух відносно оброблюваної заготовки за допомогою копіювальних пристосувань або вручну.

20.2. Обробка фасонних поверхонь обертання

Обробка фасонних поверхонь обертання здійснюється точінням, розточуванням, свердлінням і шліфуванням.

Фасонними різцями обточують на токарних верстатах звичайно фасонні поверхні невеликої довжини. На рис. 20.1, *а* показаний приклад обточування фасонної поверхні призматичним різцем, а на рис. 20.1, *б* – дисковим різцем. Фасонний різець знімає широку стружку, що часто викликає вібрацію оброблюваної деталі. Щоб запобігти вібрації чи зменшити її, застосовують малі подачі та низькі швидкості різання при рясному охолодженні різця емульсією чи мастилом.

Величина подачі в залежності від діаметра деталі (від 10 до 100 мм) і ширині різця (від 8 до 100 мм) приймається рівною 0,01–0,08 мм/об. Чим менший діаметр деталі і чим більша ширина різця, тим меншою повинна бути подача. Швидкість різання при обточуванні фасонних поверхонь при вказаних подачах менша, ніж при зовнішньому обточуванні циліндричних поверхонь і складає приблизно 25–40 м/хв. Іноді доводиться обробляти деталі, у яких поверхні настільки великі, що виготовити для них відповідний фасонний різець з довгою різальною кромкою утруднено. В таких випадках обточування фасонної поверхні виконують нормальними прохідними різцями двома методами.

При невеликій кількості оброблюваних деталей обточування ведуть з ручними

поздовжньою і поперечною подачами за один чи декілька проходів, надаючи деталі форми, яка відповідає зразку чи шаблону.

При великих припусках фасонну поверхню спочатку обточують чорновими різцями 1 і 2 (рис. 20.2), а потім чистовим 3. Обточену фасонну поверхню звичайно перевіряють спеціально виготовленими шаблонами.

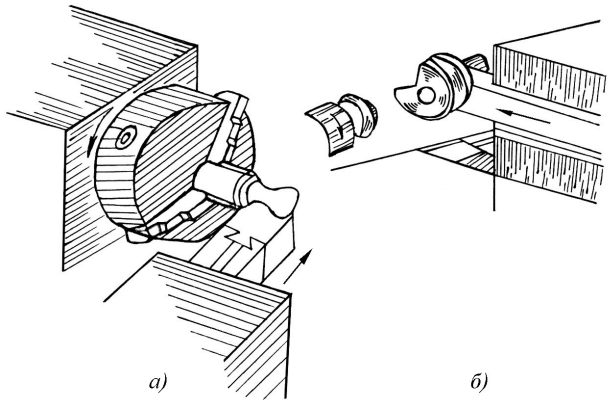


Рис. 20.1. Обточування фасонної поверхні: а – призматичним різцем; б – дисковим різцем

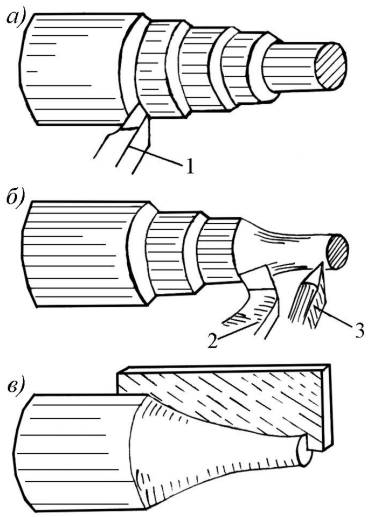


Рис. 20.2. Обточування фасонної поверхні прохідними різцями (а, б) і перевірка по шаблону (в)

Цей метод допускає користування нормальними різцями без застосування спеціальних пристроїв, проте він малопродуктивний і до того ж потребує від токаря

високої кваліфікації.

З метою підвищення продуктивності та точності обточування фасонних поверхонь виконують по копіру.

На рис. 20.3 показане обточування рукоятки 1 за допомогою копіра 2. Ролик 3, закріплений в тязі 4, здійснює з супортом поздовжній рух. При цьому він переміщується в криволінійному пазу, утвореному двома пластинами копіра, і переміщує в поперечному напрямку полозки супорта з різцем 5. Різець слідує за рухом ролика 1 і таким чином, відтворює на деталі поверхню, профіль якої відповідає профілю копіра.

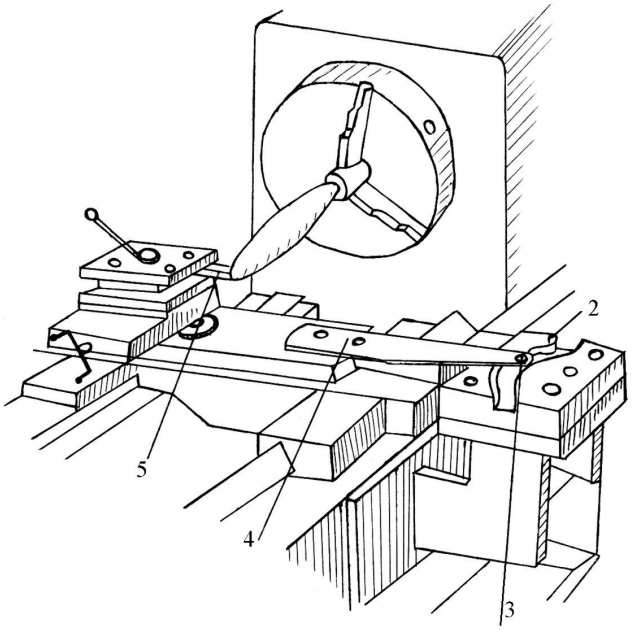


Рис. 20.3. Обточування фасонної поверхні по копіру (ролик закріплено в тязі)

Обточування фасонних поверхонь в дрібно- і середньо-серійному виробництвах здійснюють також на токарних верстатах з використанням гідрокопіювального супорта, а також на верстатах з ЧПК.

В серійному і масовому виробництвах найчастіше для цих цілей використовують гідрокопіювальні верстати.

Внутрішні фасонні поверхні обертання також можна обробляти на токарних верстатах методом поєднання поздовжньої та поперечної подач з наступною перевіркою по шаблону або використовуючи спеціальні копірні пристосування.

Для деталей, обертання яких в процесі обробки утруднене, для обробки внутрішніх фасонних поверхонь часто використовують вертикально-свердлильні верстати і фасонний інструмент (рис. 20.4).

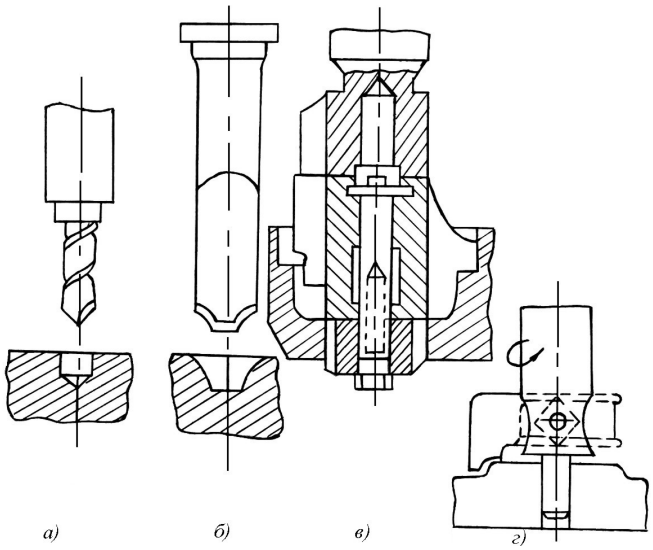


Рис. 20.4. Обробка фасонної поверхні обертанням на вертикально-свердлильних верстатах

20.3. Обробка плоско-прямолінійних фасонних поверхонь

Обробка плоско-прямолінійних фасонних поверхонь може здійснюватись струганням по розмітці різцем типу галтельного (рис. 20.5, *а*), струганням фасонним різцем (рис. 20.5, *б*), струганням по копіру і фрезеруванням циліндричною фасонною фрезою (рис. 20.5, *в*), шліфуванням спеціально заправленим шліфувальним кругом на плоско-шліфувальному верстаті (рис. 20.5, *г*).

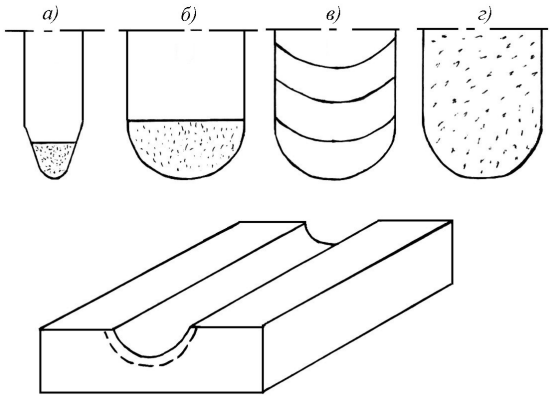


Рис. 20.5. Обробка плоско-прямолінійної фасонної поверхні: а – різцем типу галтельного (за розміткою); б – фасонним різцем; в – циліндричної фасонною фрезою; г – фасонним шліфувальним кругом

Плоско-прямолінійні поверхні можуть також оброблятись протягуванням (рис. 20.6).

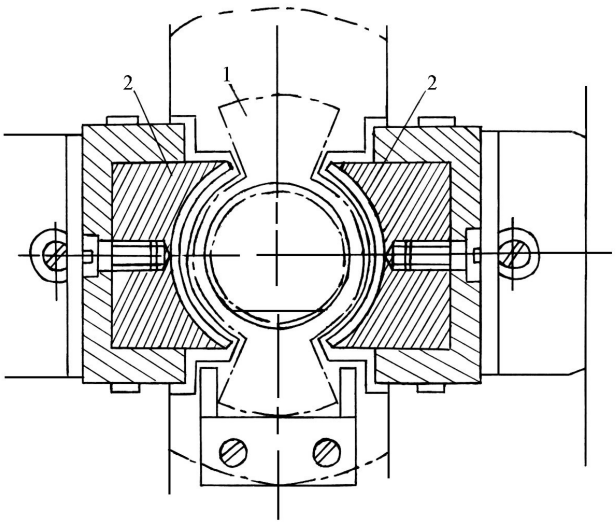


Рис. 20.6. Протягування круглого контура крильчастого валика

20.4. Обробка контурно-фасонних і плоско-криволінійних фасонних поверхонь

Контурно-фасонні поверхні типу дисків, кулачків можна обробляти на довбальному верстаті по розмітці, використовуючи при цьому одночасно три подачі стола: кругову (механічно), поздовжню і поперечну (вручну) чи на вертикально-фрезерному верстаті по розмітці пальцевою фрезою, використовуючи дві подачі стола: поздовжню і поперечну (обидві вручну). Обидва способи малопродуктивні, неточні і застосовуються в одиничному виробництві.

В серійному і масовому виробництві контурно-фасонні поверхні обробляють за допомогою копіювальних пристосувань. Обробка виконується звичайно при двох рухах, з яких один надається від відповідної механічної подачі верстата, а другий – від копіра; до останнього весь час притискається ролик (чи деталь, що його замінює), жорстко зв’язаний з частиною верстата, якій надається подача. Можна працювати і з ручною подачею.

Основним рухом при фрезеруванні по копіру є поздовжня подача стола або обертання круглого стола.

Фрезерування за останнім методом показане на рис 20.7, *а*. Цей метод зручний за наявності отвору в оброблюваній деталі. За відсутності такого отвору обробляється спочатку одна половина деталі, потім друга.

На рисунку 20.7, *а* показано заготовки деталі 1 і копір 2, закріплені на круглому столі 4. В процесі обробки стіл повільно обертається за допомогою черв’ячної передачі 7. Стіл 4 встановлений на столі 5 верстата, який може переміщатись у напрямку, показаному стрілкою К. Копір 2 притискається до ролика 3 під дією вантажу 6.

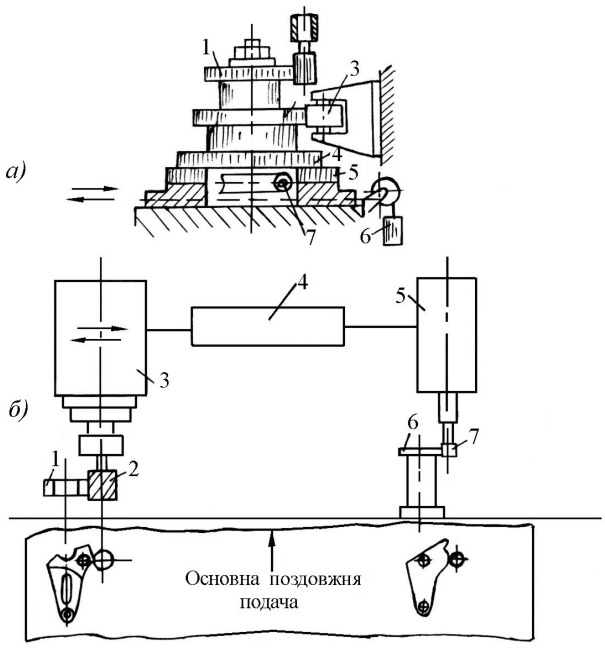


Рис. 20.7. Схема фрезерування по копіру на верстаті:
а – з круглим столом; б – з поздовжнім столом

На рисунку 20.7, *б* показана принципова схема слідкуючої системи, яка застосовується при фрезеруванні фасонних поверхонь на багатьох фрезерних верстатах. Слідкуючий палець (чи ролик) 7, переміщується по копіру (чи моделі деталі) 6, одержує додаткові переміщення, перпендикулярні основному напрямку. Ці додаткові переміщення пальця через копіювально-вимірювальний механізм 5 діють (за допомогою рідини, повітря або електрики) на підсилююче пристосування 4, яке за допомогою електричних реле, серводвигунів та іншої спеціальної апаратури доводить незначний тиск копіра на палець до величини, достатньої для дії на виконавче пристосування 3 (гідравлічні циліндри, електромеханічні системи тощо). Підсилююче пристосування, долаючи тиск подачі при різанні, переміщує стіл з оброблюваною деталлю 1 або шпиндельну головку з інструментом 2 на величину додаткових переміщень слідкуючого пальця. Верстати такого типу будують і багатошпиндельними.

Якщо замість пальцевої циліндричної фрези встановити пальцеву фасонну фрезу, то дві останні схеми виявляться прийнятними для обробки плоско-криволінійних поверхонь, наприклад, фасонні канавки на штампах гарячого штампування, прес-форм, кокілях та інших деталях інструментального виробництва.

Найпростіше просто таку обробку здійснювати на вертикально-фрезерних верстатах з ЧПК. Проте вказані деталі виготовляють, як правило, в одиничних екземплярах, і тому виготовлення копірних пристосувань чи підготовка програм виявляються економічно невигідними. Тому такого роду фасонні рівчаки в

інструментальному виробництві найчастіше всього одержують на звичайних вертикально-фрезерних верстатах фасонними пальцевими фрезами по розмітці.

Деяка частина мастильних канавок також відноситься до категорії плоско-криволінійних фасонних поверхонь. Обробка таких канавок може здійснюватись струганням по копіру (рис. 20.8).

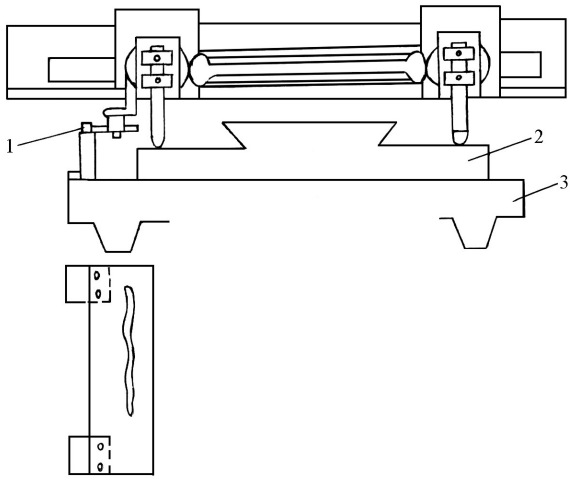


Рис. 20.8. Стругання змащувальної канавки по копіру, встановленому на столі верстата

20.5. Обробка об'ємно-криволінійних фасонних поверхонь

Найбільш типовими представниками таких поверхонь є лопатки турбін, лопасті пропелерів тощо. Точність та шорсткість таких поверхонь намагаються максимально наблизити до потрібної уже в процесі одержання заготовки. Якщо це не вдається, то механічну обробку таких поверхонь здійснюють одним з таких способів:

1. Фрезерування пальцевою фасонною фрезою на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК.
2. Шліфування стрічкою на спеціальних верстатах.
3. Гідроабразивна обробка, яка здійснюється в спеціальних устаткуваннях з використанням гідроабразивного струменя.

Останні два методи точності не підвищують, а тільки зменшують шорсткість.

20.6. Обробка фасонних поверхонь шліфуванням

Обробка фасонних поверхонь обертання здійснюється на кругло- і внутрішньошліфувальних верстатах методом врізання або коливання спеціально заправленими кругами (рис. 20.9). Шліфування зовнішніх фасонних поверхонь обертання можливе також на безцентрово-шліфувальних верстатах.

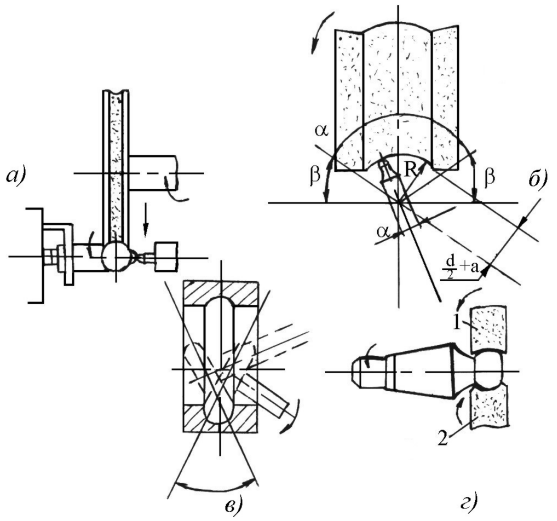


Рис. 20.9. Шліфування фасонних поверхонь: а – фасонним кругом з поперечною подачею; б – профілювання шліфувального круга по радіусу; в – бігової доріжки шарикопідшипника; г – на безцентрово-шліфувальному верстаті

Плоско-паралельні фасонні поверхні шліфуються на плоско-шліфувальних верстатах спеціально заправленими кругами.

Контурно-фасонні, плоско-криволінійні та об'ємно-криволінійні поверхні шліфують звичайно вручну, використовуючи переносні шліфувальні машинки і спеціально заправлені круги. Звичайно після ручного шліфування такі поверхні піддаються ручному поліруванню фетровими кругами з пастою. Як згадувалося вище, опуклі об'ємно-криволінійні поверхні шліфують також на стрічково-шліфувальних верстатах або обробляють гідроабразивним струмом.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЮ

1. Дайте класифікацію фасонних поверхонь та методів їх обробки.
2. Охарактеризуйте методи обробки фасонних поверхонь обертання.
3. Охарактеризуйте методи обробки плоско-прямолінійних фасонних поверхонь.
4. Охарактеризуйте методи обробки контурно-фасонних і плоско-криволінійних фасонних поверхонь.
5. Охарактеризуйте методи обробки об'ємно-криволінійних фасонних поверхонь.
6. Охарактеризуйте методи обробки фасонних поверхонь шліфуванням.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Руденко П.А. Раздел 3. Технология изготовления машин: Конспект лекцій. – Чернишов, 1986. – 159 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. Т. 1. – М., 1985. – 656 с.

Закінчення

Ви ознайомились зі змістом цього підручника. Отже, Вам стала доступна інженерна думка сотень і тисяч спеціалістів, які працювали над створенням основ машинобудування. Ви навчились розробляти технології, які відповідають сучасному рівню розвитку науки та техніки. Зробили Ви чимало і це, мабуть, здається Вам вершиною доскональності. Якщо Ви вважаєте, що на цьому можна зупинитись, то дещо помиляєтесь. Життя потребує постійного підвищення ефективності суспільного виробництва і прискорення науково-технічного прогресу. Основою для цього в машинобудуванні є широке впровадження прогресивних технологій на базі створення та скорішого освоєння нової техніки. Комплексна автоматизація та механізація, що базується на застосуванні гнучких виробничих систем і роботизованих верстатних комплексів, керування яких здійснюється від ЕОМ, є важливішим напрямком у вирішенні згаданих задач інтенсифікації виробництва.

Збільшення ступеня автоматизації і, як наслідок, розширення технологічних задач, які розв'язуються без безпосередньої участі людини, означає підвищення ролі інженерно-технічного забезпечення у створенні і керуванні сучасним машинобудівним виробництвом. У відповідності з цим інженеру, що працює в галузі машинобудівного виробництва, потрібні глибокі знання технології, верстатного обладнання, комп'ютерної та інформаційно-вимірювальної техніки.

Автори підручника ставили за мету показати загальні методи розв'язання технологічних задач складання машин і виготовлення типових деталей. В основі показаних технологічних рішень знаходяться сучасні теорії баз і розмірних ланцюгів, які дають можливість розрахувати точність та керувати технологічним обладнанням на різних етапах виконання технологічного процесу.

Базуючись на сучасних досягненнях, Ви обов'язково повинні створювати і пропонувати прогресивні розв'язки науково-технічних задач в галузі технології машинобудування.

ЗМІСТ

ВСТУП	……..	6
ЧАСТИНА 1	ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН……..	13
ТЕМА 1	ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	19
1.1.	Машина як об’єкт виробництва.....	19
1.2.	Службове призначення машини.....	22
1.3.	Технічна підготовка машинобудівного виробництва.....	23
1.4.	Виробничий і технологічний процеси.....	24
1.5.	Складові частини і структура технологічних процесів.....	25
1.6.	Просторові та часові умови здійснення технологічних процесів.....	29
1.7.	Поняття про трудомісткість, верстатомісткість, норму часу та норму виробітку.....	30
1.8.	Типи машинобудівних виробництв.....	31
1.9.	Форми організації виробництва в машинобудуванні.....	34
1.10.	Поняття про технологічність конструкцій виробів.....	39
1.11.	Стандартизація виробів, спеціалізація та кооперування виробництва.....	40
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ.....		41
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....		42
ТЕМА 2	ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ЯКІСТЬ ВИРОБІВ ТА ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ РОЗСІЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ.....	43
2.1.	Загальні поняття про якість виробів, показники якості.....	43
2.2.	Загальні поняття про точність деталей та точність машин.....	44
2.2.1.	Точність деталі.....	44
2.2.2.	Точність машин.....	45
2.2.3.	Встановлення оптимальних допусків.....	46
2.2.4.	Економічна та досяжна точність обробки.....	47
2.2.5.	Методи досягнення заданої точності розміру деталі.....	48
2.2.6.	Точність складання.....	48
2.3.	Контроль якості машин.....	51
2.3.1.	Поняття про контроль точності машин та їх вузлів.....	51
2.3.2.	Випробування машин.....	53
2.4.	Розсіяння характеристик якості.....	54
2.4.1.	Загальні поняття про розсіяння характеристик якості виробів.....	55
2.4.2.	Закон нормального розподілення (закон Гауса).....	55
2.4.3.	Побудова кривої нормального розподілення.....	59
2.4.4.	Інші закони розподілення.....	62
2.4.5.	Композиції законів розподілення і підсумування похибок.....	69
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ.....		71
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....		72
ТЕМА 3	ТЕОРІЯ РОЗМІРНИХ ЗВ’ЯЗКІВ У ВИРОБАХ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПОБУДОВА, РОЗРАХУНОК ТА	73

АНАЛІЗ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ.....
3.1. Загальні положення розмірних зв'язків..... 73
3.1.1. Види поверхонь деталей та зв'язків між ними..... 73
3.1.2. Основні поняття та визначення..... 76
3.1.3. Класифікація розмірних ланцюгів..... 77
3.1.4. Задачі, що розв'язуються за допомогою розмірних ланцюгів..... 79
3.2. Розрахунки розмірних ланцюгів..... 80
3.2.1. Розрахунок розмірних ланцюгів за методом максимуму – мінімуму..... 80
3.2.2. Розрахунки розмірних ланцюгів за ймовірнісним методом..... 87
3.2.3. Розрахунки кутових розмірних ланцюгів..... 95
3.2.4. Особливості розрахунку площинних розмірних ланцюгів..... 99
3.2.5. Розрахунки розмірного ланцюга з векторними похибками..... 100
3.2.6. Розрахунок розмірних ланцюгів з ланками – зазорами..... 103
3.2.7. Особливості розрахунку взаємозв'язаних розмірних ланцюгів..... 106
3.3. Методи досягнення точності замикальної ланки розмірного ланцюга..... 107
3.3.1. Метод повної взаємозамінності..... 107
3.3.2. Метод неповної взаємозамінності..... 108
3.3.3. Метод групової взаємозамінності..... 108
3.3.4. Метод припасування..... 113
3.3.5. Метод регулювання..... 115
3.4. Виявлення розмірних ланцюгів і порядок їх розрахунку..... 117
3.4.1. Находження замикальної ланки, визначення допуску на її розмір, виявлення складових ланок розмірного ланцюга..... 117
3.4.2. Порядок розрахунку розмірних ланцюгів..... 118
3.4.3. Вибір методів розрахунку розмірних ланцюгів і досягнення точності замикальної ланки..... 122
3.4.4. Приклади розрахунку складальних розмірних ланцюгів (задача аналізу)..... 123
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 136
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 138
ТЕМА 4 ОСНОВИ БАЗУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА ЗАГОТОВОК..... 139
4.1. Поняття про базу й базування..... 139
4.2. Основні положення теорії базування..... 140
4.3. Базування тіл різної форми..... 143
4.3.1. Базування призматичного тіла..... 143
4.3.2. Базування циліндричного тіла..... 144
4.3.3. Базування диска..... 145
4.3.4. Базування конічного тіла..... 146
4.4. Правило шести точок. Повне і неповне базування..... 147
4.5. Класифікація баз..... 150
4.6. Базуюча роль напрямних затискачів..... 159
4.7. Визначеність і невизначеність базування..... 163
4.8. Зміна баз..... 166
4.9. Побудова теоретичної схеми базування..... 168
4.10. Приклади побудови та реалізації теоретичних схем базування..... 171
4.11. Установлення заготовок в пристроях..... 176
4.12. Похибки установлення заготовок..... 178

4.13. Приклади розрахунку похибок базування..... 181
4.13.1. Похибки базування при встановленні заготовки на площину..... 181
4.13.2. Похибки базування при встановленні заготовки за зовнішньою циліндричною поверхнею на призму..... 182
4.13.3. Похибки базування при встановленні за отвором..... 185
4.13.4. Похибки базування при встановленні на площину і два отвори..... 186
4.13.5. Похибки базування при встановленні за конусним отвором..... 188
4.13.6. Похибки базування при встановленні в центрах..... 188
4.14. Призначення технологічних баз..... 190
4.15. Типові комплекти технологічних баз при обробці заготовок різних класів..... 197
4.15.1. Базування корпусних і коробчастих заготовок..... 197
4.15.2. Базування заготовок типу тіл обертання..... 203
4.15.3. Базування за обробленими поверхнями..... 207
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 208
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 209
ТЕМА 5 ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ..... 210
5.1. Оцінка точності обробки за допомогою визначення загальних похибок та їх складових..... 210
5.2. Систематичні похибки обробки..... 210
5.3. Випадкові похибки обробки..... 211
5.4. Загальна характеристика методів дослідження і розрахунку точності механічної обробки..... 212
5.5. Похибки що викликаються різними технологічними факторами та методи їх розрахунку..... 212
5.5.1. Похибки теоретичної схеми обробки..... 212
5.5.2. Похибки, що виникають внаслідок неточності, зношування та деформації верстатів..... 214
5.5.3. Похибки від розмірного зношування інструменту..... 219
5.5.4. Вплив зусилля затиску заготовки на похибку обробки..... 223
5.5.5. Похибки від теплових деформацій технологічної системи..... 225
5.5.6. Похибки обробки від внутрішніх напруг у матеріалі оброблюваної заготовки..... 229
5.5.7. Похибки від пружних деформацій технологічної системи..... 230
5.6. Складові загального поля розсіяння розмірів заготовок від випадкових похибок..... 244
5.6.1. Розсіяння розмірів пов’язане з видом обробки (похибки методу).... 244
5.6.2. Розсіяння розмірів, пов’язане з похибками установлення заготовок та точністю пристроїв..... 244
5.6.3. Розсіяння розмірів пов’язане з похибками налагодження технологічної системи..... 248
5.7. Визначення сумарної похибки обробки розрахунково-аналітичним методом..... 254
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 256
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 257
ТЕМА 6 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ..... 259
6.1. Практичне використання законів розподілення розмірів для аналізу точності обробки..... 259
6.1.1. Вибір методу обробки..... 260

6.1.2. Умови роботи без браку для закону нормального розподілення..... 260
6.1.3. Визначення кількості ймовірного браку заготовок..... 261
6.1.4. Приклад обробки статистичних даних і визначення характеристик емпіричного розподілення..... 263
6.2. Забезпечення точності механічної обробки шляхом настроювання технологічних систем..... 280
6.2.1. Методи настроювання технологічних систем. Загальні положення. 280
6.2.2. Статичне настроювання..... 280
6.2.3. Настроювання за пробними заготовками та з допомогою робочого калібру..... 281
6.2.4. Настроювання за пробними заготовками та з допомогою універсального інструменту..... 282
6.2.5. Настроювання металорізального обладнання на заданий рівень..... 290
6.3. Керування точністю обробки..... 292
6.3.1. Керування точністю процесу за вихідними даними..... 292
6.3.2. Керування точністю процесу обробки заготовок за вхідними даними..... 294
6.3.3. Керування пружними переміщеннями елементів технологічної системи для усунення систематичних та змінних систематичних похибок, які викликають похибки геометричної форми заготовок... 295
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 296
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 297
ТЕМА 7 ЯКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ..... 299
7.1. Параметри, які характеризують якість поверхні..... 299
7.1.1. Фізико-механічні параметри..... 299
7.1.2. Геометричні параметри..... 301
7.2. Вплив механічної обробки на стан поверхневого шару заготовки... 305
7.2.1. Деформаційне зміцнення (наклеп) металу поверхневого шару..... 305
7.2.2. Залишкові напруження у поверхневому шарі. Причини виникнення..... 309
7.3. Шорсткість поверхні..... 315
7.3.1. Загальні причини виникнення шорсткості..... 315
7.3.2. Геометричні причини створення шорсткості при точінні..... 316
7.3.3. Пластичні та пружні деформації металу поверхневого шару..... 318
7.3.4. Вібрації різального інструменту, верстата і заготовки..... 323
7.4. Вплив шорсткості і стану поверхневого шару на експлуатаційні властивості деталей машин..... 325
7.4.1. Вплив шорсткості поверхні..... 325
7.4.2. Вплив деформаційного зміцнення (наклепу) металу поверхневого шару..... 329
7.4.3. Вплив залишкових напружень..... 334
7.4.4. Вплив структурних змін металу поверхневого шару..... 336
7.5. Технологічна спадковість..... 337
7.5.1. Поняття про технологічну спадковість..... 337
7.5.2. Вплив режимів механічної обробки на експлуатаційні властивості деталей машин..... 339
7.6. Спеціальні технологічні методи формування поверхневого шару.... 342
7.7. Методи вимірювання і оцінки якості поверхні..... 343

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 345
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 347
ТЕМА 8 ПРИПУСКИ НА МЕХАНІЧНУ ОБРОБКУ..... 348
8.1. Загальні відомості про припуски на обробку..... 348
8.2. Розрахункові схеми розташування припусків і допусків для різних методів отримання заданої точності обробки..... 349
8.2.1. Схеми для методу пробних ходів..... 349
8.2.2. Схеми для методу автоматичного отримання розмірів..... 351
8.3. Визначення величини мінімального операційного припуску..... 353
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 354
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 355
ТЕМА 9 ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЕКОНОМІЧНІСТЬ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ..... 356
9.1. Продуктивність і собівартість обробки..... 356
9.2. Основи технічного нормування..... 362
9.2.1. Задачі і методи нормування праці..... 362
9.2.2. Класифікація затрат робочого часу..... 365
9.2.3. Структура норми часу..... 369
9.2.4. Особливості нормування багатоінструментної обробки..... 370
9.2.5. Вплив багатоінструментної обробки на режими різання..... 371
9.3. Технологічні методи підвищення продуктивності та зниження собівартості виробів..... 373
9.3.1. Збільшення кількості виробів, що належать виготовленню в одиницю часу..... 373
9.3.2. Скорочення витрат на матеріали..... 373
9.3.3. Скорочення витрат на заробітну плату..... 375
9.3.4. Скорочення накладних витрат..... 375
9.4. Визначення економічної ефективності технологічного процесу..... 376
9.4.1. Бухгалтерський метод..... 376
9.4.2. Елементний метод..... 379
9.4.3. Оцінка економічної ефективності варіанта за приведеними затратами..... 381
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 383
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 384
ТЕМА 10 ОПТИМІЗАЦІЙНІ ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ, ТОЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ..... 385
10.1. Параметри, критерії та обмеження при виборі економічних умов..... 388
10.2. Операції обробки одним інструментом..... 393
10.3. Операції багаторізцевої обробки та операції, що виконуються за два проходи..... 415
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 424
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 425
ЧАСТИНА 2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В МАШИНОБУДУВАННІ…….. 426
ТЕМА 11 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ МАШИН (СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ)……. 429
11.1 Початкові дані для проектування технологічного процесу 429

складання…….
11.2. Ознайомлення зі службовим призначенням машини..... 430
11.3. Аналіз і розробка технічних вимог до виробу (складальної одиниці), та технологічний контроль робочих креслень…….. 431
11.4. Попереднє встановлення типу виробництва та організаційної форми складання…… 435
11.5. Аналіз технологічності конструкції виробу чи складальної одиниці……. 439
11.5.1. Загальні відомості..... 439
11.5.2. Технологічні вимоги до конструкції складальних одиниць і рекомендації з поліпшення їх технологічності..... 440
11.6. Розмірний аналіз конструкції та уточнення методів досягнення точності замикальних ланок..... 444
11.6.1. Основні положення розмірного аналізу конструкції..... 444
11.6.2. Основні методичні положення розмірного аналізу машини чи складальної одиниці..... 445
11.6.3. Порядок проведення розмірного аналізу конструкції машини чи складальної одиниці..... 446
11.7. Розробка послідовності і змісту операції, нормування технологічних процесів..... 450
11.7.1. Розробка послідовності та схеми складання..... 450
11.7.2. Розробка маршрутної технології загального та по вузлового складання..... 454
11.7.3. Схеми базування виробів при вузловому та загальному складанні.. 455
11.7.4. Визначення типу складального обладнання, засобів механізації і автоматизації, оснастки і підйомно-транспортних засобів..... 455
11.7.5. Технічний контроль якості складання..... 457
11.7.6. Розробка операційної технології складання..... 460
11.7.7. Нормування технологічних процесів складання..... 463
11.8. Оснащення технологічного процесу складання..... 467
11.8.1. Механізований складальний інструмент. Слюсарний інструмент.... 467
11.8.2. Пристрої, що застосовуються при складанні..... 469
11.8.3. Обладнання складальних цехів..... 475
11.9. Розрахунок продуктивності та економічної ефективності технологічного процесу складання..... 485
11.10 Оформлення технологічної документації складання виробу..... 487
11.11. Скорочений приклад розробки технологічного процесу складання 489
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 500
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 503
ТЕМА 12 ПРОЕКТУВАННЯ ОДИНИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ..... 505
12.1. Підготовка і вивчення вихідних даних..... 505
12.1.1. Формулювання службового призначення деталі і основних вимог до неї..... 506
12.1.2. Вибір та обгрунтування матеріалу деталі. Призначення термічної обробки..... 508
12.1.3. Розробка технічних вимог на параметри точності деталі, виходячи 508

із службового призначення.....
12.1.4. Виконання креслення деталі та простановка розмірів і параметрів якості поверхонь..... 516
12.1.5. Кодування деталі..... 530
12.1.6. Аналіз виробничої програми, визначення типу та організаційної форми виробництва..... 537
12.1.7. Аналіз технологічності конструкції деталей..... 539
12.1.8. Попередній вибір заготовок і методів їх одержання..... 543
12.2. Формулювання основних технологічних задач та прийняття попередніх рішень..... 551
12.2.1. Виявлення і аналіз розмірних зв′язків поверхонь деталі та формулювання основних технологічних задач..... 551
12.2.2. Вибір принципової схеми маршруту обробки деталі..... 554
12.2.3. Вибір і обгрунтування технологічних баз..... 556
12.2.4. Вибір методів і числа ступенів обробки поверхонь (МОП)..... 572
12.2.5. Вибір варіантів маршрутів обробки деталі (МОД) та попередній вибір обладнання..... 576
12.3. Логічна оцінка варіантів МОД і вибір найбільш прийнятного..... 585
12.3.1. Загальні положення..... 585
12.3.2. Перевірка забезпечення точності розмірів по варіантах технологічного процесу..... 586
12.3.3. Аналіз інших критеріїв вибору варіантів технологічного процесу... 590
12.3.4. Приклад оцінки варіантів МОД корпуса, що представлені в таблицях 2.9 і 2.10 (рисунок деталі 2.23)..... 590
12.3.5. Формування раціональної структури операції..... 596
12.4. Розмірний аналіз технологічного процесу..... 598
12.4.1. Загальні положення..... 599
12.4.2. Визначення припусків на обробку та розмірів заготовки..... 601
12.4.3. Визначення допусків на розміри в технологічних операціях при здійсненні елементарного розмірного аналізу технологічного процесу (ЕРАН ТП)..... 604
12.4.4. Приклад елементарного розмірного аналізу обробки поверхонь деталі (ЕРАН поверхні)..... 609
12.4.5. Розробка розмірної схеми технологічного процесу, граф-дерева механічної обробки та виявлення розмірних ланцюгів..... 618
12.5. Вибір обладнання, технологічного оснащення та виконання нормативно-розрахункових робіт..... 655
12.5.1. Вибір технологічного обладнання..... 655
12.5.2. Вибір пристроїв..... 657
12.5.3. Вибір різального і допоміжного інструментів..... 659
12.5.4. Вибір методів і засобів технічного контролю якості деталей..... 661
12.5.5. Вибір засобів механізації і автоматизації..... 665
12.5.6. Вибір розмірної наладки..... 667
12.5.7. Проектування схем інструментального налагодження..... 668
12.5.8. Встановлення режимів обробки..... 671
12.5.9. Нормування операцій..... 674
12.5.10. Оформлення технологічної документації..... 677
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 678
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 680

ТЕМА 13 ПРОЕКТУВАННЯ УНІФІКОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ..... 683
13.1. Сутність, значення і сфера застосування уніфікованих технологічних процесів..... 683
13.2. Проектування типових технологічних процесів..... 684
13.3. Груповий метод обробки деталей..... 688
13.3.1. Загальна характеристика групового метода..... 688
13.3.2. Класифікація та кодування деталей..... 689
13.3.3. Групування деталей..... 690
13.3.4. Розробка групового технологічного процесу..... 695
13.4. Проектування технологічних процесів ремонту деталей..... 699
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 702
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 703
ЧАСТИНА 3 ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН…….. 704
ТЕМА 14 ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ МАШИН ТА ЇЇ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ..... 707
14.1. Підготовка деталей до складання..... 707
14.1.1. Припасувальні роботи при складанні..... 707
14.1.2. Дороблювальні операції при складанні..... 714
14.1.3. Миття та очищення деталей та складальних одиниць..... 718
14.2. Методи та технологічні засоби складання типових з’єднань деталей..... 721
14.2.1. Види з’єднань деталей..... 721
14.2.2. Складання нерухомих роз’ємних з’єднань..... 722
14.2.3. Складання нерухомих нероз’ємних з’єднань..... 728
14.3. Складання типових вузлів машин..... 734
14.3.1. Складання вузлів з підшипниками ковзання..... 734
14.3.2. Складання з’єднань з підшипниками кочення..... 737
14.3.3. Складання зубчастих та черв’ячних передач..... 742
14.3.4. Складання ремінних передач..... 753
14.3.5. Складання ланцюгових передач..... 755
14.3.6. Складання муфт..... 757
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 758
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 760
ТЕМА 15 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАНИН І РАМ..... 761
15.1. Технологічні відомості про станини..... 761
15.1.1. Службове призначення станин і рам..... 761
15.1.2. Конструкції станин..... 764
15.1.3. Технологічні вимоги до станин..... 765
15.1.4. Матеріал і заготовки..... 767
15.1.5. Технологічні бази..... 768
15.1.6. Типові технологічні маршрути..... 768
15.2. Методи виконання основних операцій при обробці станин..... 770
15.2.1. Розмітка..... 770
15.2.2. Чорнова обробка основи..... 771
15.2.3. Чистова обробка основи..... 773
15.2.4. Чорнова і чистова обробка верхніх привалочних площин і 774

напрямних.....
15.2.5. Обробка торцевих поверхонь..... 777
15.2.6. Обробка кріпильних отворів..... 778
15.2.7. Зміцнення і виконання напрямних..... 780
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 781
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 781
ТЕМА 16 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ..... 782
16.1. Технологічні відомості про корпусні деталі..... 782
16.1.1. Службове призначення корпусних деталей, конструктивні види... 782
16.1.2. Технічні вимоги до корпусних деталей..... 784
16.1.3. Матеріал і заготовки..... 785
16.1.4. Основні способи базування..... 787
16.1.5. Варіанти технологічного маршрута..... 788
16.2. Методи виконання окремих операцій при виготовленні 789
корпусних деталей.....
16.2.1. Методи обробки зовнішніх площин..... 789
16.2.2. Методи обробки основних отворів..... 792
16.2.3. Методи обробки кріпильних і інших отворів..... 794
16.2.4. Методи викінчування основних отворів..... 795
16.2.5. Контроль корпусних деталей..... 797
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 797
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 798
ТЕМА 17 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЖЕЛІВ, ВИЛОК І 799
ШАТУНІВ.....
17.1. Службове призначення і конструктивні різновиди..... 799
17.2. Технічні вимоги до важелів, вилок і шатунів..... 802
17.3. Матеріали і способи одержання заготовок..... 803
17.4. Схеми базування..... 805
17.5. Варіанти побудови типових маршрутів обробки..... 807
17.6. Методи виконання основних операцій..... 808
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ..... 810
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА..... 811
ТЕМА 18 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛІВ..... 812
18.1. Технологія виготовлення ступінчастих валів..... 812
18.1.1. Службове призначення, конструктивні різновиди і технічні 812
умови на виготовлення.....
18.1.2. Матеріали і способи одержання заготовок..... 813
18.1.3. Способи базування..... 814
18.1.4. Типові технологічні маршрути..... 814
18.1.5. Методи виконання окремих операцій..... 816
18.2. Технологія виготовлення колінчастих валів..... 824
18.2.1. Службове призначення, конструктивні різновиди і технічні 824
умови.....
18.2.2. Матеріал і способи одержання заготовок..... 825
18.2.3. Способи базування..... 826
18.2.4. Типовий технологічний маршрут..... 828
18.2.5. Методи виконання окремих операцій..... 829
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ 833
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА 834

ТЕМА 19 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗУБЧАСТИХ ТА ЧЕРВ'ЯЧНИХ ПЕРЕДАЧ 835
19.1. Технологічні відомості про деталі зубчастих передач 835
19.1.1. Службове призначення, конструктивні різновиди і технічні умови на виготовлення 835
19.1.2. Матеріал і способи одержання заготовок 837
19.1.3. Способи базування 838
19.1.4. Технологічний маршрут виготовлення циліндричних зубчастих коліс при l/d<1 839
19.1.5. Технологічний маршрут виготовлення циліндричних зубчастих коліс при l/d>1 839
19.1.6. Технологічний маршрут виготовлення вал-шестерні (циліндричної) 840
19.1.7. Технологічний маршрут виготовлення зубчастих конічних коліс при l/d>1, 8-го ступеня точності зі шліцьовим отвором (заготовка – штамповка, діаметром 50…200 мм) 841
19.1.8. Технологічний маршрут виготовлення конічного колеса-вала, 5-го-6-го ступеня точності, m=4 мм, заготовка – штамповка діаметром 140 мм зі сталі 12ХН4А 841
19.2. Методи виконання окремих операцій при виготовленні зубчастих коліс 842
19.2.1. Токарна обробка 842
19.2.2. Огляд найбільш поширених методів обробки зубів 846
19.2.3. Способи чистової обробки і викінчування зубів 852
19.2.4. Деякі особливості нарізання та викінчування конічних зубчастих коліс 858
19.3. Технологія виготовлення деталей черв'ячних передач 864
19.3.1. Службове призначення, конструктивні різновиди і технічні вимоги 864
19.3.2. Технологія виготовлення черв'яків 866
19.3.3. Методи нарізання і шліфування черв'яків 867
19.3.4. Технологія виготовлення черв'ячних коліс 872
19.3.5. Методи нарізання і викінчування зубів черв'ячних коліс 872
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ 874
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА 875
ТЕМА 20 ОБРОБКА ФАСОННИХ ПОВЕРХОНЬ 877
20.1. Класифікація фасонних поверхонь і методів їх обробки 877
20.2. Обробка фасонних поверхонь обертання 877
20.3. Обробка плоско-прямолінійних фасонних поверхонь 880
20.4. Обробка контурно-фасонних і плоско-криволінійних фасонних поверхонь 881
20.5. Обробка об'ємно-криволінійних фасонних поверхонь 883
20.6. Обробка фасонних поверхонь шліфуванням 884
ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ 885
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА 885
ЗАКІНЧЕННЯ 898
ДОДАТКИ 898

Таблиця значень $Z_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$

Додаток 1

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,3989	0,3989	0,3989	0,3988	0,3986	0,3984	0,3982	0,3980	0,3977	0,3973
0,1	0,3980	0,3965	0,3961	0,3956	0,3951	0,3945	0,3939	0,3932	0,3925	0,3918
0,2	0,3910	0,3902	0,3894	0,3885	0,3867	0,3857	0,3856	0,3847	0,3836	0,3825
0,3	0,3814	0,3802	0,3790	0,3778	0,3765	0,3752	0,3739	0,3726	0,3712	0,3696
0,4	0,3683	0,3668	0,3653	0,3637	0,3621	0,3605	0,3589	0,3572	0,3555	0,3538
0,5	0,3521	0,3503	0,3485	0,3467	0,3448	0,3429	0,3410	0,3391	0,3372	0,3352
0,6	0,3332	0,3312	0,3292	0,3271	0,3251	0,3230	0,3209	0,3189	0,3166	0,3144
0,7	0,3123	0,3110	0,3079	0,3056	0,3034	0,3011	0,2989	0,2966	0,2943	0,2920
0,8	0,2897	0,2874	0,2850	0,2827	0,2803	0,2780	0,2755	0,2732	0,2709	0,2685
0,9	0,2661	0,2637	0,2613	0,2589	0,2565	0,2541	0,2516	0,2492	0,2468	0,2444
1,0	0,2420	0,2395	0,2372	0,2342	0,2323	0,2299	0,2275	0,2251	0,2227	0,2203
1,1	0,2179	0,2155	0,2131	0,2107	0,2083	0,2059	0,2036	0,2012	0,1989	0,1965
1,2	0,1942	0,1919	0,1895	0,1872	0,1849	0,1826	0,1804	0,1781	0,758	0,1736
1,3	0,1714	0,1691	0,1669	0,1647	0,1624	0,1604	0,1582	0,1561	0,1539	0,1518
1,4	0,1497	0,1476	0,1456	0,1435	0,1415	0,1394	0,1374	0,1354	0,1334	0,1315
1,5	0,1295	0,1276	0,1257	0,1238	0,1219	0,1200	0,1182	0,1163	0,1145	0,1127
1,6	0,1109	0,1092	0,1074	0,1057	0,1040	0,1023	0,1006	0,0989	0,0973	0,0957
1,7	0,0940	0,0925	0,0909	0,0893	0,0878	0,0863	0,0848	0,0833	0,0818	0,0804
1,8	0,0790	0,0775	0,0761	0,0748	0,0734	0,0721	0,0707	0,0694	0,0681	0,0669

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,9	0,0656	0,0644	0,0632	0,0620	0,0608	0,0596	0,0584	0,0573	0,0562	0,0551
2,0	0,0540	0,0529	0,0519	0,0508	0,0498	0,0488	0,0478	0,0468	0,0459	0,0449
2,1	0,0440	0,0431	0,0422	0,0413	0,0404	0,0396	0,0387	0,0379	0,0371	0,0363
2,2	0,0355	0,0347	0,0339	0,0332	0,0325	0,0317	0,0310	0,0303	0,0297	0,0290
2,3	0,0289	0,0277	0,0270	0,0264	0,0258	0,0252	0,0246	0,0241	0,0235	0,0229
2,4	0,0224	0,0219	0,0213	0,0208	0,0203	0,0198	0,0194	0,0189	0,0184	0,0180
2,5	0,0175	0,0171	0,0167	0,0163	0,0158	0,0154	0,0151	0,0147	0,0143	0,0139
2,6	0,0136	0,0132	0,0129	0,0126	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110	0,0107
2,7	0,0104	0,0101	0,0099	0,0096	0,0093	0,0091	0,0088	0,0086	0,0084	0,0081
2,8	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0067	0,0065	0,0063	0,0061
2,9	0,0060	0,0058	0,0056	0,0055	0,0053	0,0051	0,0050	0,0048	0,0047	0,0046
3,0	0,0044	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034
3,1	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0025
3,2	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0018	0,0018
3,3	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013
3,4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0009	0,0009
3,5	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006
3,6	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004
3,7	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
3,8	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001

Таблиця ймовірності P для критерію $\lambda^2 - x_i$

Додаток 2

λ^2	K							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,3173	0,6055	0,8013	0,9098	0,9626	0,9856	0,9948	0,9982
2	0,1574	0,3679	0,5724	0,7358	0,8491	0,9197	0,9598	0,9810
3	0,0833	0,2231	0,3916	0,5578	0,7000	0,8088	0,8850	0,9344
4	0,0455	0,1353	0,2615	0,4060	0,5494	0,6767	0,7798	0,8571
5	0,0254	0,0821	0,1718	0,2873	0,4159	0,5438	0,6600	0,7576
6	0,0143	0,0498	0,1116	0,1991	0,3062	0,4232	0,5398	0,6472
7	0,0081	0,0302	0,0719	0,1359	0,2206	0,3208	0,4289	0,5366
8	0,0047	0,0183	0,0460	0,0916	0,1562	0,2381	0,3326	0,4335
9	0,0027	0,0111	0,0293	0,0611	0,1091	0,1736	0,2527	0,3423
10	0,0016	0,0067	0,0186	0,0404	0,0752	0,1247	0,1886	0,2650
11	0,0009	0,0041	0,0117	0,0266	0,0514	0,0884	0,1386	0,2017
12	0,0005	0,0025	0,0074	0,0174	0,0348	0,0620	0,1006	0,1512
13	0,0003	0,0015	0,0046	0,0113	0,0234	0,0430	0,0721	0,1119
14	0,0002	0,0009	0,0029	0,0073	0,0156	0,0296	0,0512	0,0818
15	0,0001	0,0006	0,0018	0,0047	0,0104	0,0203	0,0360	0,0591
16	0,0001	0,0003	0,0011	0,0030	0,0068	0,0138	0,0251	0,0424
17	0,0000	0,0002	0,0007	0,0019	0,0045	0,0093	0,0174	0,0301
18		0,0001	0,0004	0,0012	0,0029	0,0062	0,0120	0,0212
19		0,0001	0,0003	0,0008	0,0019	0,0042	0,0082	0,0149
20		0,0000	0,0002	0,0005	0,0013	0,0028	0,0056	0,0103

λ^2	K							
	1	2	3	4	5	6	7	8
21			0,0001	0,0003	0,0008	0,0018	0,0038	0,0071
22			0,0001	0,0002	0,0005	0,0012	0,0025	0,0049
23			0,0000	0,0001	0,0003	0,0008	0,0017	0,0034
24				0,0001	0,0002	0,0005	0,0011	0,0023
25				0,0001	0,0001	0,0003	0,0008	0,0016
26				0,0000	0,0001	0,0002	0,0005	0,0010
27					0,0001	0,0001	0,0003	0,0007
28					0,0000	0,0001	0,0002	0,0005
29						0,0001	0,0001	0,0003
30						0,0000	0,0001	0,0002

λ^2	K							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0,9994	0,9998	0,9999	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
2	0,9915	0,9963	0,9985	0,9994	0,9998	0,9999	1,0000	1,0000
3	0,9643	0,9814	0,9907	0,9955	0,9979	0,9991	0,9996	0,9998
4	0,9114	0,9473	0,9699	0,9834	0,9912	0,9955	0,9977	0,9989
5	0,8343	0,8912	0,9312	0,9580	0,9752	0,9858	0,9921	0,9958
6	0,7399	0,8153	0,8734	0,9161	0,9462	0,9665	0,9797	0,9881
7	0,6371	0,7254	0,7991	0,8576	0,9022	0,9347	0,9576	0,9733
8	0,5341	0,6288	0,7133	0,7851	0,8436	0,8893	0,9238	0,9489
9	0,4373	0,5321	0,6219	0,7029	0,7729	0,8311	0,8775	0,9134

λ^2	K							
	9	10	11	12	13	14	15	16
10	0,3505	0,4405	0,5304	0,6160	0,6939	0,7622	0,8197	0,8666
11	0,2757	0,3575	0,4433	0,5289	0,6108	0,6860	0,7526	0,8095
12	0,2131	0,2851	0,3626	0,4457	0,5276	0,6063	0,6790	0,7440
13	0,1626	0,2237	0,2933	0,3690	0,4478	0,5265	0,6023	0,6728
14	0,1223	0,1730	0,2330	0,3007	0,3738	0,4497	0,5255	0,5987
15	0,0909	0,1321	0,1825	0,2414	0,3074	0,3782	0,4514	0,5246
16	0,0669	0,0996	0,1411	0,1912	0,2491	0,3134	0,3821	0,4530
17	0,0487	0,0744	0,1079	0,1496	0,1993	0,2592	0,3189	0,3856
18	0,0352	0,0550	0,0816	0,1157	0,1575	0,2068	0,2627	0,3239
19	0,0252	0,0403	0,0611	0,0885	0,1231	0,1649	0,2137	0,2687
20	0,0179	0,0293	0,0453	0,0671	0,0952	0,1301	0,1719	0,2202
21	0,0126	0,0211	0,0334	0,0504	0,0729	0,1016	0,1368	0,1785
22	0,0089	0,0151	0,0244	0,0375	0,0554	0,0786	0,1078	0,1432
23	0,0062	0,0107	0,0177	0,0277	0,0417	0,0603	0,0841	0,1137
24	0,0043	0,0076	0,0127	0,0203	0,0311	0,0458	0,0651	0,0895
25	0,0030	0,0053	0,0091	0,0148	0,0231	0,0346	0,0499	0,0698
26	0,0020	0,0037	0,0065	0,0107	0,0170	0,0259	0,0380	0,0540
27	0,0014	0,0026	0,0046	0,0077	0,0124	0,0193	0,0287	0,0415
28	0,0010	0,0018	0,0032	0,0055	0,0090	0,0142	0,0216	0,0316
29	0,0006	0,0012	0,0023	0,0039	0,0065	0,0104	0,0161	0,0239
30	0,0004	0,0009	0,0016	0,0028	0,0047	0,0076	0,0119	0,0180

Значення функції Лапласа Ф(t)

Додаток 3

t	Ф(t)	t	Ф(t)	t	Ф(t)	t	Ф(t)	t	Ф(t)
0,00	0,0000	0,21	0,0830	0,42	0,1630	0,63	0,2355	0,84	0,2995
0,01	0,0040	0,22	0,0870	0,43	0,1665	0,64	0,2390	0,85	0,3025
0,02	0,0080	0,23	0,0910	0,44	0,1700	0,65	0,2420	0,86	0,3050
0,03	0,0120	0,24	0,0950	0,45	0,1735	0,66	0,2455	0,87	0,3080
0,04	0,0160	0,25	0,0985	0,46	0,1770	0,67	0,2485	0,88	0,3105
0,05	0,0200	0,26	0,1025	0,47	0,1810	0,68	0,2520	0,89	0,3135
0,06	0,0240	0,27	0,1065	0,48	0,1845	0,69	0,2550	0,90	0,3160
0,07	0,0280	0,28	0,1105	0,49	0,1880	0,70	0,2580	0,91	0,3180
0,08	0,0320	0,29	0,1140	0,50	0,1915	0,71	0,2610	0,92	0,3210
0,09	0,0360	0,30	0,1180	0,51	0,1950	0,72	0,2640	0,93	0,3240
0,10	0,0400	0,31	0,1215	0,52	0,1985	0,73	0,2675	0,94	0,3265
0,11	0,0440	0,32	0,1255	0,53	0,2020	0,74	0,2705	0,95	0,3290
0,12	0,0480	0,33	0,1295	0,54	0,2055	0,75	0,2735	0,96	0,3315
0,13	0,0515	0,34	0,1330	0,55	0,2090	0,76	0,2765	0,97	0,3340
0,14	0,0555	0,35	0,1370	0,56	0,2125	0,77	0,2795	0,98	0,3365
0,15	0,0595	0,36	0,1405	0,57	0,2155	0,78	0,2825	0,99	0,3390
0,16	0,0635	0,37	0,1445	0,58	0,2190	0,79	0,2850	1,00	0,3415
0,17	0,0675	0,38	0,1480	0,59	0,2225	0,80	0,2880	1,01	0,3440
0,18	0,0715	0,39	0,1515	0,60	0,2255	0,81	0,2910	1,02	0,3460
0,19	0,0755	0,40	0,1555	0,61	0,2290	0,82	0,2940	1,03	0,3485
0,20	0,0795	0,41	0,1590	0,62	0,2325	0,83	0,2965	1,04	0,3510

t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)
1,05	0,3530	1,26	0,3960	1,47	0,4290	1,68	0,4535	1,89	0,4705
1,06	0,3555	1,27	0,3980	1,48	0,4305	1,69	0,4545	1,90	0,4715
1,07	0,3575	1,28	0,4000	1,49	0,4320	1,70	0,4555	1,91	0,4720
1,08	0,3600	1,29	0,4015	1,50	0,4330	1,71	0,4565	1,92	0,4725
1,09	0,3620	1,30	0,4030	1,51	0,4345	1,72	0,4575	1,93	0,4730
1,10	0,3645	1,31	0,4050	1,52	0,4357	1,73	0,4580	1,94	0,4740
1,11	0,3665	1,32	0,4065	1,53	0,4370	1,74	0,4590	1,95	0,4745
1,12	0,3685	1,33	0,4080	1,54	0,4382	1,75	0,4600	1,96	0,4750
1,13	0,3710	1,34	0,4100	1,55	0,4395	1,76	0,4610	1,97	0,4755
1,14	0,3730	1,35	0,4115	1,56	0,4405	1,77	0,4615	1,98	0,4760
1,15	0,3740	1,36	0,4130	1,57	0,4420	1,78	0,4625	1,99	0,4765
1,16	0,3770	1,37	0,4145	1,58	0,4430	1,79	0,4635	2,00	0,4775
1,17	0,3790	1,38	0,4160	1,59	0,4440	1,80	0,4640	2,01	0,4780
1,18	0,3810	1,39	0,4175	1,60	0,4450	1,81	0,4650	2,02	0,4785
1,19	0,3830	1,40	0,4190	1,61	0,4465	1,82	0,4655	2,03	0,4790
1,20	0,3850	1,41	0,4205	1,62	0,4475	1,83	0,4665	2,04	0,4795
1,21	0,3870	1,42	0,4220	1,63	0,4485	1,84	0,4670	2,05	0,4800
1,22	0,3890	1,43	0,4235	1,64	0,4495	1,85	0,4680	2,06	0,4805
1,23	0,3905	1,44	0,4250	1.65	0,4505	1,86	0,4685	2,07	0,4810
1,24	0,3925	1,45	0,4265	1,66	0,4515	1,87	0,4695	2,08	0,4812
1,25	0,3945	1,46	0,4280	1,67	0,4526	1,88	0,4700	2,09	0,4815

t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)
2,10	0,4820	2,31	0,4895	2,52	0,4940	2,73	0,4965	2,94	0,4985
2,11	0,4825	2,32	0,4900	2,53	0,4945	2,74	0,4970	2,95	0,4985
2,12	0,4830	2,33	0,4900	2,54	0,4945	2,75	0,4970	2,96	0,4985
2,13	0,4835	2,34	0,4905	2,55	0,4945	2,76	0,4970	2,97	0,4985
2,14	0,4840	2,35	0,4905	2,56	0,4950	2,77	0,4970	2,98	0,4985
2,15	0,4840	2,36	0,4910	2,57	0,4950	2,78	0,4975	2,99	0,4985
2,16	0,4845	2,37	0,4910	2,58	0,4950	2,79	0,4975	3,00	0,4986
2,17	0,4850	2,38	0,4915	2,59	0,4950	2,80	0,4975	3,10	0,4986
2,18	0,4855	2,39	0,4915	2,60	0,4955	2,81	0,4975	3,20	0,4993
2,19	0,4855	2,40	0,4920	2,61	0,4955	2,82	0,4975	3,30	0,4995
2,20	0,4860	2,41	0,4920	2,62	0,4955	2,83	0,4975	3,40	0,4996
2,21	0,4865	2,42	0,4920	2,63	0,4955	2,84	0,4975	3,50	0,4997
2,22	0,4870	2,43	0,4925	2,64	0,4960	2,85	0,4975	3,60	0,4998
2,23	0,4870	2,44	0,4925	2,65	0,4960	2,86	0,4980	3,70	0,4999
2,24	0,4875	2,45	0,4930	2,66	0,4960	2,87	0,4980	3,80	0,4999
2,25	0,4880	2,46	0,4930	2,67	0,4960	2,88	0,4980	4,00	0,4999
2,26	0,4880	2,47	0,4930	2,68	0,4965	2,89	0,4980	5,00	0,49999
2,27	0,4885	2,48	0,4935	2,69	0,4965	2,90	0,4980		
2,28	0,4885	2,49	0,4935	2,70	0,4965	2,91	0,4980		
2,29	0,4890	2,50	0,4940	2,71	0,4965	2,92	0,4980		
2,30	0,4895	2,51	0,4940	2,72	0,4965	2,93	0,4980		

Нормований інтегральний закон розподілу з лінійною функцією a(t); $\Phi(t_a, \lambda_a) = \int_0^1 \varphi(t_a, \lambda_a)dt$

Додаток 4

t_a	$\Phi(t_a, \lambda_a)$				t_a	$\Phi(t_a, \lambda_a)$			
	$\lambda_a = 3$	$\lambda_a = 6$	$\lambda_a = 10$	$\lambda_a = 25$		$\lambda_a = 3$	$\lambda_a = 6$	$\lambda_a = 10$	$\lambda_a = 25$
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,85	0,2757	0,2554	0,2490	0,2460
0,05	0,0166	0,0150	0,0146	0,0145	0,90	0,2906	0,2703	0,2637	0,2604
0,10	0,0332	0,0304	0,0293	0,0289	0,95	0,3032	0,2853	0,2783	0,2749
0,15	0,0498	0,0451	0,0439	0,0434	1,00	0,3194	0,3002	0,2930	0,2894
0,20	0,0664	0,0601	0,0586	0,0579	1,05	0,3333	0,3151	0,3076	0,3038
0,25	0,0830	0,0751	0,0732	0,0723	1,10	0,3466	0,3299	0,3223	0,3183
0,30	0,0995	0,0901	0,0879	0,0868	1,15	0,3595	0,3445	0,3369	0,3228
0,35	0,1161	0,1052	0,1025	0,1013	1,20	0,3719	0,3589	0,3515	0,3472
0,40	0,1325	0,1202	0,1172	0,1157	1,25	0,3837	0,3731	0,3662	0,3617
0,45	0,1489	0,1352	0,1318	0,1302	1,30	0,3949	0,3869	0,3807	0,3762
0,50	0,1652	0,1502	0,1465	0,1447	1,35	0,4055	0,4003	0,3952	0,3906
0,55	0,1815	0,1653	0,1611	0,1592	1,40	0,4155	0,4130	0,4094	0,4051
0,60	0,1976	0,1803	0,1758	0,1736	1,45	0,4248	0,4251	0,4234	0,4196
0,65	0,2136	0,1953	0,1904	0,1881	1,50	0,4335	0,4364	0,4367	0,4340
0,70	0,2295	0,2103	0,2051	0,2026	1,55	0,4415	0,4468	0,4492	0,4485
0,75	0,2451	0,2253	0,2197	0,2170	1,60	0,4489	0,4562	0,4607	0,4627
0,80	0,2605	0,2403	0,2344	0,2315	1,65	0,4555	0,4646	0,4707	0,4762

t_a	$\Phi(t_a, \lambda_a)$				t_a	$\Phi(t_a, \lambda_a)$			
	λ_a=3	λ_a=6	λ_a=10	λ_a=25		λ_a=3	λ_a=6	λ_a=10	λ_a=25
1,70	0,4616	0,4719	0,4791	0,4873	2,40	0,4976	0,4999		
1,75	0,4670	0,4781	0,4858	0,4948	2,45	0,4982	0,4999		
1,80	0,4719	0,4833	0,4908	0,4985	2,50	0,4986	0,5000		
1,85	0,4762	0,4875	0,4944	0,4997	2,55	0,4989			
1,90	0,4800	0,4908	0,4972	0,5000	2,60	0,4992			
1,95	0,4833	0,4935	0,4983		2,65	0,4994			
2,00	0,4861	0,4954	0,4991		2,70	0,4995			
2,05	0,4886	0,4969	0,4996		2,75	0,4997			
2,10	0,4906	0,4979	0,4998		2,80	0,4998			
2,15	0,4924	0,4987	0,4999		2,85	0,4998			
2,20	0,4939	0,4992	0,5000		2,90	0,4999			
2,25	0,4951	0,4995			2,95	0,4999			
2,30	0,4961	0,4997			3,00	0,4999			
2,35	0,4969	0,4998			3,10	5,0000			

Функція розподілу нормованого закону Релея $\hat{O}(t) = \int_0^t te^{\frac{t^2}{2}} dt$

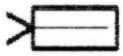
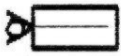
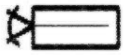
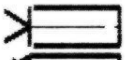
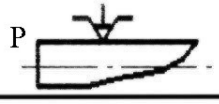
Додаток 5

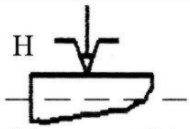
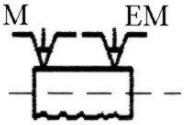
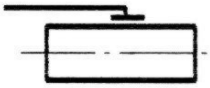
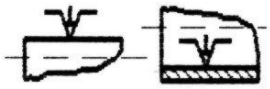
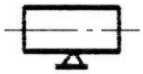
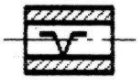
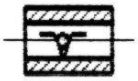
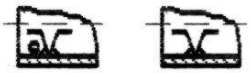
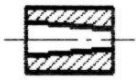
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0001	0,0002	0,0005	0,0008	0,0013	0,0018	0,0024	0,0032	0,0040
0,1	0,0050	0,0060	0,0072	0,0084	0,0098	0,0112	0,0127	0,0143	0,0160	0,0179
0,2	0,0198	0,0218	0,0239	0,0261	0,0283	0,0307	0,0332	0,0358	0,0384	0,0412
0,3	0,0440	0,0469	0,0499	0,0533	0,0561	0,0594	0,0627	0,0661	0,0696	0,0732
0,4	0,0769	0,0806	0,0844	0,0883	0,0922	0,0962	0,1004	0,1046	0,1088	0,1131
0,5	0,1175	0,1219	0,1265	0,1310	0,1356	0,1403	0,1451	0,1499	0,1548	0,1597
0,6	0,1647	0,1698	0,1749	0,1800	0,1852	0,1904	0,1957	0,2010	0,2065	0,2188
0,7	0,2173	0,2228	0,2283	0,2339	0,2395	0,2451	0,2508	0,2565	0,2623	0,2680
0,8	0,2738	0,2797	0,2855	0,2855	0,2914	0,2973	0,3032	0,3091	0,3150	0,3270
0,9	0,3330	0,3390	0,3450	0,3510	0,3571	0,3632	0,3692	0,3752	0,3813	0,3874
1,0	0,3935	0,3995	0,4056	0,4117	0,4177	0,4237	0,4298	0,4358	0,4419	0,4479
1,1	0,4539	0,4599	0,4659	0,4719	0,4778	0,4837	0,4898	0,4956	0,5015	0,5074
1,2	0,5132	0,5190	0,5249	0,5307	0,5364	0,5421	0,5479	0,5536	0,5592	0,5648
1,3	0,5704	0,5760	0,5815	0,5870	0,5925	0,5980	0,6034	0,6088	0,6141	0,6194
1,4	0,6246	0,6299	0,6351	0,6403	0,6454	0,6505	0,6555	0,6605	0,6655	0,6704
1,5	0,6753	0,6802	0,6850	0,6898	0,6945	0,6991	0,7038	0,7084	0,7130	0,7175
1,6	0,7219	0,7264	0,7307	0,7351	0,7394	0,7437	0,7478	0,7520	0,7561	0,7602
1,7	0,7642	0,7682	0,7721	0,7760	0,7799	0,7837	0,7875	0,7912	0,7949	0,7985
1,8	0,8021	0,8056	0,8091	0,8126	0,8160	0,8194	0,8227	0,8260	0,8292	0,8324

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,9	0,8355	0,8386	0,8416	0,8447	0,8477	0,8506	0,8535	0,8564	0,8591	0,8619
2,0	0,8646	0,8673	0,8700	0,8726	0,8752	0,8777	0,8801	0,8826	0,8850	0,8874
2,1	0,8897	0,8920	0,8943	0,8965	0,8987	0,9008	0,9030	0,9050	0,9071	0,9091
2,2	0,9110	0,9130	0,9150	0,9168	0,9186	0,9204	0,9222	0,9239	0,9256	0,9273
2,3	0,9290	0,9306	0,9322	0,9337	0,9353	0,9368	0,9383	0,9397	0,9411	0,9425
2,4	0,9439	0,9452	0,9465	0,9477	0,9490	0,9502	0,9515	0,9527	0,9538	0,9549
2,5	0,9560	0,9571	0,9582	0,9592	0,9603	0,9612	0,9622	0,9632	0,9641	0,9650
2,6	0,9660	0,9668	0,9677	0,9685	0,9693	0,9701	0,9709	0,9717	0,9724	0,9731
2,7	0,9739	0,9745	0,9753	0,9759	0,9766	0,9772	0,9778	0,9784	0,9790	0,9796
2,8	0,9801	0,9807	0,9812	0,9818	0,9823	0,9828	0,9833	0,9837	0,9841	0,9846
2,9	0,9850	0,9855	0,9859	0,9863	0,9867	0,9871	0,9875	0,9878	0,9882	0,9885
3,0	0,9889	0,9892	0,9895	0,9898	0,9901	0,9904	0,9907	0,9910	0,9912	0,9915
3,1	0,9918	0,9920	0,9923	0,9925	0,9928	0,9930	0,9932	0,9934	0,9936	0,9938
3,2	0,9940	0,9942	0,9944	0,9946	0,9947	0,9949	0,9951	0,9952	0,9954	0,9955
3,3	0,9957	0,9958	0,9960	0,9960	0,9662	0,9963	0,9965	0,9965	0,9967	0,9968
3,4	0,9970	0,9970	0,9970	0,9972	0,9973	0,9974	0,9975	0,9975	0,9976	0,9977
3,5	0,9978	0,9979	0,9980	0,9980	0,9980	0,9981	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984
3,6	0,9985	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	0,9987	0,9988	0,9988	0,9988	0,9989
3,7	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992
3,8	0,9992	0,9993	0,9993	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995
3,9	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
4,0	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999

Додаток 6

Умовні позначення опор, затискачів та встановлювальних пристосувань
(ГОСТ 3.1107-81)

Найменування	Умовні позначення		
	Вид збоку	Вид у плані	
		зверху	знизу
Опора:			
нерухома			
рухома			
регульована			
регульована зі сферичною опуклою робочою поверхнею			
нерухома з призматичною робочою поверхнею			
рухома /затискач/ з призматичною робочою поверхнею			
Центр:			
нерухомий /гладкий/			
обертовий			
плаваючий			
рифлений			
зворотній обертовий з рифленою поверхнею			
Патрон:			
дво-, три-, чотирьохкулачковий з механічним затискачем			
пневматичний			

Найменування	Умовні позначення		
	Вид збоку	Умовні позначення	
		зверху	знизу
гідравлічний		—	—
магнітний та електромагнітний		—	—
електричний		—	—
повідцевий		—	—
Патрони та оправки цангові		—	—
Патрони та оправки з гідропластовим затискачем		—	—
Люнет нерухомий		—	—
Оправень: циліндричний гладкий		—	—
циліндричний кульковий (роликовий)		—	—
циліндричний різевий та шлицьовий		—	—
роликовий		—	—

Додаток 7

Технологічні документи, які використовують
при розробці технологічних процесів складання
(згідно з ГОСТ 3.1119-83 і ГОСТ 3.1121-84)

Технологічний процес	Технологічні документи при описі технологічного процесу (операції)		
	маршрутного	маршрутно-операційного	операційного
Одиничний	ТЛ, МК^{Х}, ВО, ВСІ, КЕ	ТЛ, МК^{Х}, ОК, ВО, ВОП^{Х}, ВСІ, КК, КЕ	ТЛ, МК^{Х}, ОК, ВО, КК, КЕ
Типовий, груповий	ТЛ, МК^{Х}, ВТД, ВТП^{Х}, ВО, ВСІ, КК, КЕ	ТЛ, МК^{Х}, ОК, ВТД, ВО, КК, КТІ^{Х}, ВСІ, КЕ	ТЛ, КТТП^{Х}, МК, ОК, ВТД, ВО, КК, КТІ^{Х}, ВСІ, КЕ

Додаток 8

Перелік слюсарних і складальних операцій

Слюсарні операції	Складальні операції
1. Слюсарна	1. Складання
2. Згинання	2. Базування
3. Гравірувальна	3. Балансування
4. Оздоблювальна	4. Застебування
5. Зачищення	5. Закріплення
6. Зенкерування	6. Запресовування
7. Завивання	7. Клепка
8. Калібрування	8. Контровка
9. Кернування	9. Маркування
10. Нарізання	10. Пломбування
11. Навивання	11. Склеювання
12. Відрубка	12. Стопоріння
13. Відрізання	13. Згвинчування
14. Обпилювання	14. Встановлення
15. Очищення	15. Центрування
16. Полірування	16. Штифтування
17. Правка	17. Шплінтування
18. Розмітка	18. Розбирання
19. Розрізання	19. Розпресовування
20. Розвертання	20. Розшплінтування
21. Розвальцьовування	21. Розштифтування
22. Свердлильна	22. Розпломбовування
23. Мастильна	23. Розгвинчування
24. Шабрування	

Додаток 9

Приклади повного і скороченого запису
слюсарних і складальних переходів*

Запис переходу	
повний	скорочений
Гнути заготовку, витримуючи розміри 1 і 2	Гнути загот. за еск.
Зачистити буртик 1 від фарби	
Калібрувати отвір 2, витримуючи розмір 1	Зачистити за еск.
Маркувати деталь, витримуючи розмір 1 і 2	Калібрувати отв. за 2 кресл.
Нарізати різь, витримуючи розмір 1	Маркувати деталь за. еск.
Обпиляти заготовку, витримуючи розміри 1, 2 і 3	Нарізати різь за кресл.
Розвернути отвір 2, витримуючи параметр шорсткості Ra = 1,25	Обпиляти загот. за кресл.
Розмітити деталь, витримуючи розміри	Розвернути отв. 2 за кресл.
Розвальцювати поверхню 1, витримуючи розмір 2	Розмітити дет. за кресл.
Розрізати заготовку, витримуючи l = 28 мм, b = 25 мм	Розвальцювати пов. 1 за кресл.
Розібрати виріб (позиції 1, 4, 7)	Розрізати загот. за еск.
Свердлити отвір, витримуючи розміри 1 і 2	
Згвинтити деталі 1 і 2, витримуючи розмір 1	Розібрати виріб за кресл.
Скласти деталі 3 і 7, витримуючи розмір 1 і забезпечуючи герметичність	Свердл. отв. за кресл.
Встановити деталь, витримуючи кут 30º	Згвинтити деталі 1 і 2 за кресл.
Шабрити поверхню 1 з точністю 10–12 плям	
	Скласти деталі 3 і 7 за кресл.
	Встановити деталь за кресл.
	Шабрити пов. 1 за еск.
* Формулювання переходів наведено з допустимими скороченнями слів	

Додаток 10

Ключові слова технологічних переходів складання

Код	Ключове слово	Код	Ключове слово
01	Балансувати	17	Правити
02	Базувати	20	Притерти
05	Зігнути	30	Пломбувати
04	Гравірувати	19	Полірувати
45	Довести	31	Розмітити
03	Завити	21	Розрізати
06	Застебнути	24	Розвернути
81	Закріпити	32	Розгвинтити
08	Запресувати	33	Розвальцювати
07	Зачистити	33	Розпресувати
12	Застопорити	34	Розшплінтувати
13	Зенкерувати	35	Розібрати
09	Калібрувати	36	Розпломбувати
14	Кернувати	37	Розштифтувати
22	Контрувати	29	Свердлити
18	Клепати	89	Мастити
23	Маркувати	39	Згвинтити
13	Нарізати	40	Склеїти
11	Навити	41	Скласти
26	Нанести	91	Встановити
15	Обпиляти	38	Центрувати
27	Відрубати	42	Шабрити
28	Зачистити	43	Шплінтувати
16	Відрізати	44	Штифтувати

Додаток 11

Найменування оброблюваних поверхонь і конструктивних
елементів при обробці різанням і складанні

Код	Найменування		Код	Найменування	
	повне	скорочене		повне	скорочене
001	Буртик	бурт.	005	Галтель	Галт.
002	Буртики	–	006	Галтелі	–
003	Виточка	вит-ка	007	Деталь	Дет.
004	Виточки	–	008	Деталі	–
009	Заготовка	загот.	023	Поверхні	–
010	Зуб	–	024	Пружина	Пруж.
011	Зубці	–	025	Пружини	–
012	Канавка	канав.	026	Різь	–
013	Канавки	–	027	Рифлення	Рифл.
014	Контур	к-р	028	Ступінь	Ступ.
015	Конус	кон.	029	Сфера	–
016	Лиска	–	030	Торець	–
017	Лиски	–	031	Торці	–
018	Отвір	отв.	032	Фаска	–
019	Отвори	–	033	Фаски	–
020	Паз	–	034	Черв’як	Черв.
021	Пази	–	035	Циліндр	Цил.
022	Поверхня	пов.			

Додаток 12

Додаткова інформація, яка використовується
в формулюваннях слюсарних і складальних переходів

Код	Запис		Код	Запис	
	повний	скорочений		повний	скорочений
01	За кресленням	За кресл.	07	Забезпечуючи прилягання	Забезпеч. приляг
02	За ескізом	За еск.			
03	За розміткою	За розм.	08	Забезпечуючи паралельність	Забезпеч. парал.
04	За трафаретом	За траф.			
05	З точністю	З точн.	09	За шаблоном	За шабл.
06	Забезпечуючи герметичність	Забезпеч. герметич.	10	За реперними точками	За реперн. точк.
			13	Від іржі	–

Додаток 15

Наближені формули для визначення норм часу при обробці поверхні

Основний технологічний час, $T_o \times 10^{-3}$хв	
Чорнове обточування за один прохід	0,17dl
Чорнове обточування по 11-му квалітету	0,1dl
Чистове обточування по 9-му квалітету	0,17dl
Чорнове підрізання торця R_a 6,3	0,037(D–d)
Чорнове підрізання торця R_a 6,3	0,052(D–d)
Відрізання	0,19D
Чорнове та чистове обточування фасонним різцем	0,063(D–d)
Шліфування грубе по 11-му квалітету	0,07dl
Шліфування чистове по 9-му квалітету	0,1dl
Шліфування чистове по 6-му квалітету	0,15dl
Розточування отворів на токарному верстаті	0,18dl
Свердління отворів	0,52dl
Розсвердлювання d = 20…60	0,31dl
Зенкування	0,21dl
Розвертання чорнове	0,43dl
Розвертання чистове	0,86dl
Внутрішнє шліфування отворів 9-го квалітету	1,5dl
Внутрішнє шліфування отворів 7-го квалітету	1,8dl
Чорнове розточування отворів за один прохід R_a 12,5	0,2dl
Чорнове розточування під розвертку	0,3dl
Розвертання плаваючою розверткою по 9-му квалітету	0,27dl
Розвертання плаваючою розверткою по 7-му квалітету	0,52dl
(де d – діаметр; l – довжина поверхні, яка обробляється; D–d – різниця найбільшого і найменшого діаметрів торця, який оброблюється)	
Протягування отворів і шпонкових канавок (l – довжина протяжки, мм/)	0,4l
Стругання чорнове на поздовжньо-стругальних верстатах	0,065Bl
Стругання чистове під шліфування або шабріння	0,034Bl
Фрезерування чорнове торцевою фрезою:	
за прохід	6l
чистове	4l
Фрезерування чорновою циліндричною фрезою	7l
Шліфування площин торцем круга	2,5l

(де B – ширина поверхні, яка обробляється, мм; l – довжина поверхні, яка обробляється)	
Фрезерування зубів черв'ячною фрезою (D = 80…300 мм)	2,2Db
Обробка зубів черв'ячних коліс (D = 100…400)	60,3D
(де D – діаметр зубчастого колеса, мм; b – довжина зуба, мм)	
Фрезерування шліцьових валів методом обкатування	91z
Шліцешліфування	4,61z
(де l – довжина шліцьового валика, мм; z – чискість шліців)	
Нарізання різі на валу (d = 32…120) мм	19dl
Нарізання мітчиком різі в отворах (d = 10…24) мм	0,4dl
(де d – діаметр різі, мм; l – довжина різі, мм)	

Додаток 16

Орієнтовна річна програма випуску деталей за типами виробництва в механічних цехах, шт..

Максимальна маса оброблюваної заготовки (деталі), кг	Тип виробництва		
	одиничне	дрібносерійне	середньосерійне
до 200 201…2000 2001…30000	До 1000 до 20 до 5	1001…5000 21…500 6…100	5001…10000 501…1000 101…300

Максимальна маса оброблюваної заготовки (деталі), кг	Тип виробництва	
	великосерійне	масове
до 200 201…2000 2001…30000	10001…100000 1001…5000 301…1000	Більше ніж 100000 до 5000 до 1000

Додаток 17

Значення коефіцієнта φ

Види верстатів	Виробництво	
	одиничне і дрібносерійне	Великосерійне
1	2	3
Токарні	2,14	1,36
Токарно-револьверні	1,98	1,35
Токарно-багаторізцеві	–	1,50
Вертикально-свердлильні	1,72	1,30
Радіально-свердлильні	1,75	1,41
Розточувальні	3,25	–
Круглошліфувальні	2,10	1,55
Стругальні	1,73	–
Фрезерні	1,84	1,51
Зуборізні	1,66	1,27

Примітка: Штучно-калькуляційний час $T_{шт.к.} = \varphi T_o$.

Додаток 18

Ефективні (дійсні) річні фонди часу роботи обладнання при 41-годинному тижні із врахуванням святкових днів у році, год

Обладнання або робоче місце	Число робочих змін	
	дві	три
1. МЕХАНІЧНІ ЦЕХИ		
Металорізальні верстати масою, т:		
до 10	4055	6055
від 10 до 100	3975	5930
більше ніж 100	3810	5650
Унікальне та особливо складне металорізальне обладнання, металорізальні верстати з ЧПК і багатоцільові верстати масою, т:		
до 10	3935	5835
від 10 до 100	3850	5715
більше ніж 100	3725	5525
ГВК	–	5715
Агрегатні верстати	4015	5990
Автоматичні лінії механічної обробки	3725	5465
2. СКЛАДАЛЬНІ ЦЕХИ		
Робочі місця без механізованих пристроїв		
Робочі місця з механізованими пристроями	4140	621
Складальне автоматичне і напівавтоматичне обладнання. Випробувальні стенди	4080	608
Автоматичні складальні лінії	3975	593
Випробувальні стенди	3725	546
Потоково-механізовані складально-зварювальні лінії	4015	5990
	3725	5525

Примітка: Основний режим роботи обладнання – двозмінний; тризмінний режим роботи обладнання застосовується, як правило, для ліквідації вузьких місць виробництва.

Додаток 19

Укрупнена типова схема раціональної послідовності
етапів обробки заготовки

Етап	Назва	Зміст етапів і вихідні параметри
Е1	Попередній I	Обробка поверхонь, які будуть використовуватись як технологічні бази на наступних етапах
Е2	Попередній II	Чорнова обробка виконавчих (головних) поверхонь і поверхонь, які не допускають наявності дефектів. Точність розмірів – IT12…IT14, форма і розташування – X…XII ступеня, Rz = 10…20 мкм, Ra = 2,5…5 мкм
Е3	Термічний	Термообробка для зняття внутрішнього напруження I і II роду
Е4	Напівчистовий	Правка баз і напівчистова обробка головних поверхонь. Точність розмірів – IT10…IT12, форма і розташування – VIII…IX ступеня, Rz = 6,3…10 мкм, Ra = 1,25…2,5 мкм
Е5	Термічний II	Термообробка для поліпшення якості верхніх шарів металу
Е6	Чистовий	Правка баз і чистова обробка головних поверхонь. Точність розмірів – IT8…IT9, форма і розташування – VI…VII ступеня, Rz = 3,2…6,3 мкм, Ra = 0,63…1,25 мкм
Е7	Додатковий	Виконання другорядних операцій (свердління кріпильних отворів, зняття фасок, прорізання канавок) і обробка поверхонь які легко пошкоджуються (наприклад, нарізання різі)
Е8	Гальванічний	Хромування, нікелювання тощо
Е9	Викінчувальний	Опорядження виконавчих і головних поверхонь. Точність розмірів – IT5…IT7, форма і розташування IV…V ступеня, Rz = 0,8…1,6 мкм, Ra = 0,16…0,32 мкм
Е10	Контрольний	Остаточний контроль, випробовування

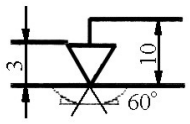
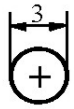
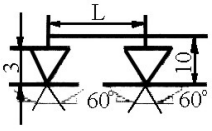
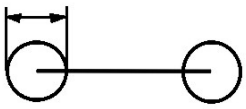
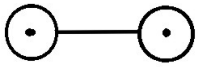
Додаток 20

Комплекти параметрів якості поверхні
на суміжних переходах

Перехід			
виконуваний		попередній	
квалітет точності	параметр шорсткості, мкм	квалітет точності	Параметр шорсткості, мкм
5	Ra = 0,16	8	Ra = 0,63
6	Ra = 0,32	11	Ra = 1,25
8	Ra = 1,25	13	Ra = 2,5
8	Ra = 0,63	13	Rz = 20
11…13	Rz = 40	14…16	Rz = 80
11…13	Rz = 20, Ra = 2,5	14…16	Rz = 40

Додаток 24

Умовні позначення затискачів (ГОСТ 3.1107-81)

Затискач	Позначення затискача на видах		
	спереду, ззаду	зверху	знизу
Одинарний			
Подвійний			

Примітка. Довжина L встановлюється розробником. Допускається спрощене позначення подвійного затискача.

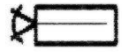
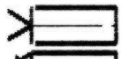
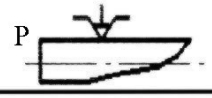
Додаток 25

Призначення побудови затискача (ГОСТ 3.1107-81)

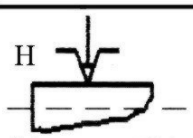
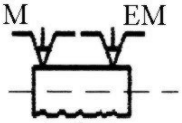
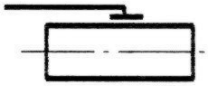
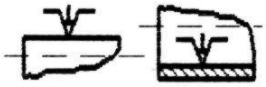
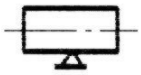
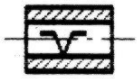
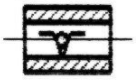
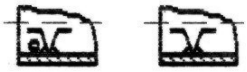
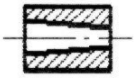
Злагода затискача	Позначення злагоди затискача на всіх видах
Пневматичне	Р
Гідравлічне	Н
Електричне	Е
Магнітне	М
Електромагнітне	ЕМ
Інше	Без позначень

Додаток 26

Умовні позначення опор, затискачів та установчих пристосувань
(ГОСТ 3.1107-81)

Найменування	Умовні позначення		
	Вид збоку	Вид у плані	
		зверху	знизу
Опора:			
нерухома			
рухома			
регульована			
регульована зі сферичною опуклою робочою поверхнею			
нерухома з призматичною робочою поверхнею			
рухома /затискач/ з призматичною робочою поверхнею			
Центр:			
нерухомий /гладкий/			
обертовий			
плаваючий			
рифлений			
зворотній обертовий з рифленою поверхнею			
Патрон:			
дво-, три-, чотирьохкулачковий з механічним затискачем			
пневматичний			

Закінчення додатку 26

Найменування	Умовні позначення		
	Вид збоку	Умовні позначення	
		зверху	знизу
гідравлічний		—	—
магнітний та електромагнітний		—	—
електричний		—	—
повідцевий		—	—
Патрони та оправки цангові		—	—
Патрони та оправки з гідропластовим затискачем		—	—
Люнет нерухомий		—	—
Оправень:			
циліндричний гладкий		—	—
циліндричний кульковий (роликовий)		—	—
циліндричний різевий та шлицьовий		—	—
роликовий		—	—

Додаток 27

Таблиці економічної точності обробки на металорізальних верстатах

Додаток 27.1

Економічна точність та шорсткість зовнішніх циліндричних поверхонь при різних МОП

№ переходу МОП	Перехід МОП	Квалітет точності /за ГОСТ 25347-82/	Параметр шорсткості Ra /за ГОСТ 2789-73*/
1	Обточування одноразове	12	10..5
1	Те ж попереднє	11…10	5…2,5
2	-“- чистове		
1	-“- одноразове	10…9	2,5…0,63
2	Шліфування одноразове		
1	Обточування попереднє	9…7	1,25…0,63
2	Те ж чистове		
3	Шліфування одноразове		
1	Обточування попереднє	8…7	0,63…0,32
2	Те ж чистове		
3	-“- тонке		
1	-“- одноразове	8…6	0,63…0,32
2	Шліфування попереднє		
3	Те ж чистове		
1	Обточування попереднє	6	0,63…0,32
2	Те ж чистове		
3	Шліфування попереднє		
4	Те ж чистове		
1	Обточування попереднє	7…5	0,32…0,15
2	Те ж чистове		
3	Шліфування попереднє		
4	Те ж тонке		
1	Обточування попереднє	5	0,32…0,08
2	Те ж чистове		
3	Шліфування попереднє		
4	Те ж чистове		
5	-“- тонке		

Додаток 27.2

Економічна точність і шорсткість внутрішніх

циліндричних поверхонь при різних МОП

Перехід МОП	Квалітет точності /за ГОСТ 25347-82/	Параметр шорсткості Ra /за ГОСТ 2789-73*/
У суцільному металі		
Свердлення	12	40…20
Свердлення і зенкерування	11	10…2,5
Свердлення і розвертання	9	5…1,25
Свердлення і протягування	9	2,5…0,32
Свердлення, розвертання і зенкерування	9	2,5…0,63
Свердлення і дворазове розвертання	8…7	2,5…0,32
Свердлення, зенкерування і дворазове розвертання	8…7	1,25…0,32
Свердлення, зенкерування і шліфування	8…7	1,25…0,32
Свердлення, протягування і калібрування	8…7	1,25…0,32
У заготовках з отвором		
Зенкерування або розточування	12	10…2,5
Розсвердлювання	12	40…5
Дворазове зенкерування або дворазове розточування	11	20…5
Зенкерування або розточування і розвертання	9	5…1,25
Зенкерування і розточування	9	10…2,5
Дворазове зенкерування і розвертання або дворазове розточування і розвертання	9	2,5…0,63
Зенкерування або розточування і дворазове розвертання	8…7	1,25…0,15
Зенкерування або дворазове розточування і дворазове розвертання або тонке розточування	8…7	1,35…0,25
Прогресивне протягування і шліфування	8…7	0,32…0,04
Зенкерування або дворазове розточування і хонінгування	8…7	0,16…0,02

Додаток 27.3

Економічна точність та шорсткість плоских поверхонь при різних МОП

Перехід МОП	Квалітет точності (згідно з ГОСТ 25347-82)	Параметр шорсткості Ra (згідно з ГОСТ 2789-73*)
Стругання та фрезерування циліндричними і торцевими фрезами:		
чорнове	14…11	20…1,25
напівчистове та одноразове	12…11	5…1,25
чистове	10	2,5…0,63
тонке	9…7	2,5…0,15
Протягування:		
чорнове литих і штампованих поверхонь	11…10	5…0,63
чистове	9…7	2,5…0,32
Шліфування:		
одноразове	9…8	2,5…0,15
попереднє	9	2,5…0,32
чистове	8	0,63…0,08
тонке	7	0,32…0,04

Додаток 27.4

Економічна точність і шорсткість зубів зубчастих коліс

Метод обробки	Ступінь точності (згідно з ГОСТ 1643-81)	Параметр шорсткості Ra (згідно з ГОСТ 2789-73)
Фрезерування:		
попереднє	9…10	20…2,5
чистове дисковими фрезами	8…9	10…5
“черв’ячними”	7…8	10…5
Довбання чистове	6…8	5…0,63
Протягування	6…7	5…0,63
Стругання чистове	5…7	5…0,63
Шевінгування	6…7	2,5…0,32
Шліфування	4…5	1,25…0,15

Додаток 27.5

Економічна точність та шорсткість нарізних поверхонь

Метод обробки	Поле допуску для різі (згідно з ГОСТ 16093-81)		Параметр шорсткості Ra (згідно з ГОСТ 2789-73)
	зовнішньої	внутрішньої	
Круглими плашками	8q	–	20…5
Мітчиками	–	6H	10…2,5
Фрезерування:			
дисковими фрезами	6q	–	10…1,25
гребінчастими фрезами	6q	–	10…2,5
Точіння:			
різцями	4h	4H, 5H	5…0,63
гребінками	6q	–	10…0,63
Обертовими різцями (вихровий метод)	6q	6H	5…1,25
Саморозкривними головками	4h	–	10…1,25
Накатування:			
плоскими плашками	6q	–	1,25…0,32
різенакатними роликами	6q …4q	–	1,25…0,15

Додаток 28

Операційні припуски на діаметр при обробці
зовнішніх циліндричних поверхонь

Діаметр обробленої деталі, мм	Вид обробки	Розрахункова довжина, мм					
		до 120	понад 120 до 260	понад 260 до 500	понад 500 до 800	понад 800 до 1200	понад 1250 до 2000
Від 6 до 10	Точіння чорнове	1,8	1,8	1,9	–	–	–
	чистове	0,7	0,7	0,7	–	–	–
	Шліфування	0,19	0,19	0,24	–	–	–
Понад 10 до 18	Точіння чорнове	1,8	1,8	1,9	–	–	–
	чистове	0,7	0,7	0,8	–	–	–
	Шліфування	0,21	0,24	0,27	–	–	–
Понад 18 до 30	Точіння чорнове	2,0	2,3	2,4	2,8	–	–
	чистове	0,7	0,7	0,8	0,9	–	–
	Шліфування	0,24	0,24	0,27	0,29	–	–
Понад 30 до 50	Точіння чорнове	2,1	2,5	2,6	2,8	–	–
	чистове	0,8	0,8	0,9	0,9	–	–
	Шліфування	0,29	0,29	0,29	0,34	0,39	–
Понад 50 до 80	Точіння чорнове	2,8	3,0	3,2	3,4	–	–
	чистове	0,8	0,8	0,9	1,0	–	–
	Шліфування	0,33	0,33	0,34	0,39	0,44	–
Понад 80 до 120	Точіння чорнове	3,6	3,8	4,0	4,1	5,1	–
	чистове	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	–
	Шліфування	0,37	0,37	0,39	0,44	0,49	0,54
Понад 120 до 180	Точіння чорнове	5,4	5,6	5,6	5,8	6,6	9,9
	чистове	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1
	Шліфування	0,40	0,40	0,42	0,45	0,50	0,60
Понад 180 до 250	Точіння чорнове	6,9	7,0	7,0	7,2	7,8	11,0
	чистове	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4
	Шліфування	0,40	0,43	0,45	0,50	0,55	0,65

Пояснення до користування таблицею:

1. Припуски на чорнове точіння передбачені для заготовок із прокату звичайної точності, при закріпленні заготовки на верстаті в патроні із заднім центром.

2. Припуски на шліфування передбачені при шліфуванні на круглошліфувальному верстаті нетермообробленої сталі.

3. При визначенні припуску на розрахункову довжину необхідно приймати:

1) при встановленні деталі в центрах: для гладких деталей та середніх ділянок ступінчастих деталей – загальну довжину деталі; для крайніх ділянок ступінчастих деталей – довжину оброблюваної ділянки;

2) при встановленні деталі в патроні – довжину найбільш віддаленого кінця оброблюваної ділянки до кулачків патрону.

Додаток 29

Операційні припуски на діаметр при розточуванні
та шліфуванні внутрішніх циліндричних поверхонь

Діаметр обробленого отвору, мм	Вид обробки	Розрахункова довжина отвору, мм		
		до 50	понад 50 до 100	понад 100 до 200
Від 10 до 18	Розточування:			
	напівчистове	0,7	0,8	–
	чистове	0,5	0,5	–
	тонке	0,1	0,15	–
	Шліфування	0,26	0,26	–
Понад 18 до 30	Розточування:			
	напівчистове	0,7	0,8	1,0
	чистове	0,5	0,6	0,6
	тонке	0,15	0,2	0,25
	Шліфування	0,27	0,27	0,3
Понад 30 до 50	Розточування:			
	напівчистове	0,7	0,8	1,0
	чистове	0,6	0,6	0,6
	тонке	0,15	0,2	0,25
	Шліфування	0,28	0,28	0,32
Понад 50 до 80	Розточування:			
	напівчистове	0,8	0,9	1,1
	чистове	0,6	0,6	0,7
	тонке	0,2	0,25	0,3
	Шліфування	0,33	0,33	0,35
Понад 80 до 120	Розточування:			
	напівчистове	0,9	0,9	1,1
	чистове	0,6	0,6	0,7
	тонке	0,2	0,25	0,3
	Шліфування	0,36	0,36	0,36

Пояснення до користування таблицею:

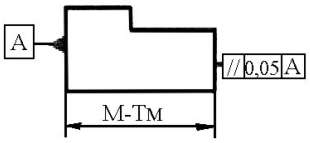
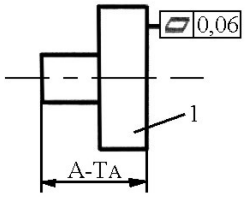
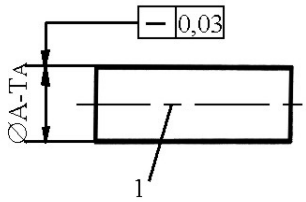
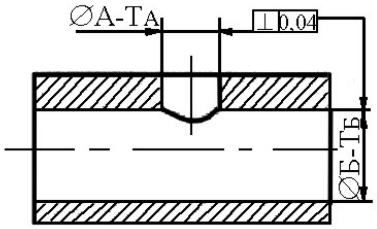
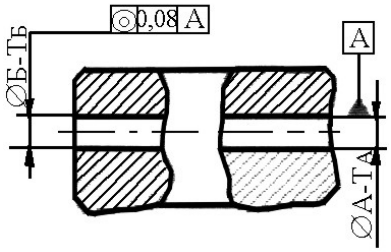
1. Припуски наведені для деталей, що встановлюються у самоцентруючому патроні на чисто оброблену поверхню.

2. Припуски наведені для обробки деталей різцями, оснащеними алмазами, твердими сплавами, мінералокерамікою, ельбором.

3. Припуски на шліфування наведені для незагартованих сталей.

Додаток 31

Відхилення форми та розташування поверхонь

Умовні позначення	Технічні вимоги	Запис
	Відхилення від паралельності поверхні Б відносно А не більше 0,05 мм	Р(Б – А) = 0_{+-}0,05
	Відхилення від площинності поверхні 1 не більше 0,03 мм	ρ_1 = 0,06
	Відхилення від прямолінійності осі вала 1 не більше 0,03 мм	сρ_1 = 0,03
	Відхилення від перпендикулярності осі отвору А відносно осі отвору Б не більше 0,04 мм	N = (А – Б) = 0_{+-}0,04
	Відхилення від співвісності отвору Б відносно отвору А не більше 0,08 мм.	Е(Б – А) = 0_{+-}0,08

Додаток 32

Точність геометричної форми Рф та розташування поверхонь Рр
при механічній обробці

Вид обробки	Метод обробки та обладнання	Робочий хід	Вид похибки	Величина похибки (мкм) в залежності від номінального розміру, мм					
				до 10	10–50	50–160	160–300	300–500	більше 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Токарна	Токарні, револьверні, карусельні, багатошпиндельні та інші токарні верстати	перший	Рф.п	6-16	10-30	25-50	40-80	60-120	100-250
			Рф.ц	10-24	20-40	30-60	50-100	80-150	150-300
			Рр.п	25-60	40-120	100-200	150-360	300-450	400-1000
			Рр.ц	40-80	50-100	80-120	100-200	150-250	200-400
		другий	Рф.п	2,5-6	4-16	10-25	16-35	25-50	40-100
			Рф.ц	2-10	6-16	8-20	10-25	12-30	16-50
			Рр.п	6-16	10-40	16-50	25-80	40-100	80-300
			Рр.ц	20-30	30-60	40-80	60-100	80-160	100-500
		третій	Рф.п	0,6-1	1-2,5	1,6-6	4-10	8-16	10-40
			Рф.ц	1,2-3	2,5-4	3-8	5-10	7-12	10-25
			Рр.п	1,6-4	4-10	6-16	8-20	10-30	16-100
			Рр.ц	5-16	8-20	10-25	12-30	16-40	20-80
Свердління та розточування	Свердління спіральними свердлами	Один	Рф.ц	12-25	16-40	20-50			
			Рр.п	25-60	40-120	80-250	160-400		
	Свердління гарматними свердлами	Один	Рф.ц	2-5	4-10	8-16	12-20		
			Рр.п	2,5-6	4-16	10-25	16-40		
	Зенкерування	Один	Рф.ц	2-8	6-12	8-20			
			Рр.п	4-10	8-16	10-25	16-40		
	Розвертання	Один	Рф.ц	1,5-2	2,5-8	5-10	8-16		
			Рр.п	Може збільшуватись на 10 % порівняно з вихідним					
	Алмазне розточування	Один	Рф.п	0,4-1	0,8-2	1,2-4	2,5-8	6-10	
			Рф.ц	0,5-1,2	1-2,8	2-5	4-10	6-16	10-20
			Рр.п	0,6-1,6	1,2-4	2,5-6	4-8	6-10	8-16
			Рр.ц	2,5-6	3-8	5-10	6-12	8-16	10-20
Фрезерна	Вертикальні, горизонтальні та поздовжньо-фрезерні верстати	Перший	Рф.ц	6-16	10-20	16-40	28-80	50-120	100-600
			Рр.п	25-60	40-120	100-250	200-360	250-450	400-1200
		Другий	Рф.ц	1-4	2,5-10	6-16	10-20	16-30	20-100
			Рр.п	4-10	6-30	20-60	40-80	60-120	100-400
	Протягування та прошивання	Один	Рф.ц	1,6-4	2,5-10	6-16	8-20	10-25	
			Рр.п	2-5	6-30	5-12	8-16	10-20	
			Рф.ц	Може збільшуватись на 30 % порівняно з вхідним					
			Рр.п	Перпендикулярність торців до осі отворів 0,15:100					

Закінчення додатку 32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шліфування	Круглошліфувальні, внутрішньошліфувальні та плоскошліфувальні верстати	Попередній	Рф.п	2,5-6	4-10	6-16	20-25	20-40	20-100
			Рф.ц	2,6-4	2,5-8	5-12	8-16	10-20	16-40
			Рр.п	4-10	8-20	16-30	20-50	30-60	50-160
			Рр.ц	20-30	25-50	40-60	50-80	60-100	80-200
		Чистовий	Рф.п	1-4	2,5-8	6-12	10-20	16-25	20-60
			Рф.ц	0,8-2,5	1,6-4	2,5-5	4-6	5-8	6-16
			Рр.п	1,6-4	2,5-6	4-10	8-16	10-25	20-100
			Рр.ц	8-12	6-16	12-20	20-40	20-40	30-120
	Безцентрово-шліфувальні верстати	Один	Рф.ц	2,5-6	4-10	6-12	10-20	16-40	30-50
			Рр.п	Може збільшуватись на 10 % порівняно з вихідним					
Оздоблювання	Хонінгування	Один	Рф.п	0,6-1,6	1,2-4	2,6-6	4-8	6-10	8-30
			Рф.ц	0,5-1,2	1-2,5	1,6-3	2,5-5	3-6	
			Рр.п	Може збільшуватись на 20 % порівняно з вихідним					
	Суперфінішування	Один	Рф.п	0,4-1	0,6-1,6	1-2,5	1,6-4	2,5-8	4-20
			Рф.ц	0,3-0,8	0,5-1,2	0,8-3	1,2-3	2-5	3-10
	Притирання (доводка)	Один	Рф.п	0,2-0,6	0,4-1,2	1-2,5	1,6-4	2,5-6	4-16
			Рф.ц	0,3-0,8	0,5-1,6	0,8-2	1,6-2,5	2-3	
			Рр.п	Може збільшуватись на 10 % порівняно з вихідним					

Позначення: Рф.п – відхилення від площинності та прямолінійності; Рф.ц – відхилення від циліндричості (конусоподібність, бочкоподібність, овальність, огранка); Рр.п – відхилення від перпендикулярності, торцове биття; Рр.ц – радіальне биття.

Додаток 37

Ключові слова основних і допоміжних технологічних переходів /(обробка різанням)

Код	Ключове слово	Код	Ключове слово
01	Вальцювати	28	Стругати
02	Врізатись	29	Суперфінішувати
03	Галтувати	30	Точити
04	Гравірувати	31	Хонінгувати
05	Довести	32	Шевінгувати
06	Довбати	33	Шліфувати
07	Закруглити	34	Цеклувати
08	Заточити	35	Центрувати
09	Затилувати	36	Фрезерувати
10	Зенкерувати, зенкувати	80	Вивірити
11	Навити	81	Закріпити
12	Накатати	82	Настроїти
13	Нарізати	83	Перевстановити
14	Обкатати	84	Перевстановити і закріпити
15	Обпилити	85	Перевстановити, вивірити і закріпити
16	Відрізати	86	Пересунути
17	Підрізати	87	Підтиснути
18	Полірувати	88	Перевірити
19	Притерти	89	Мастити
20	Припрацювати	90	Зняти
21	Протягнути	91	Встановити
22	Розвернути	92	Встановити і вивірити
23	Розвальцювати	93	Встановити і закріпити
24	Розкатати	94	Встановити, вивірити і закріпити
25	Розсвердлити		
26	Розточити		
27	Свердлити		

Додаток 38

Найменування оброблюваних поверхонь та конструктивних елементів при обробці різанням і складанні

Код	Найменування		Код	Найменування	
	повне	скорочене		повне	скорочене
001	Буртик	Бурт.	005	Галтель	Галт.
002	Буртики	–	006	Галтелі	–
003	Виточка	Вит-ка	007	Деталь	Дет.
004	Виточки	–	008	Деталі	–
009	Заготовка	Загот.	023	Поверхні	–
010	Зуб	–	024	Пружина	Пруж.
011	Зубці	–	025	Пружини	–
012	Канавка	Канав.	026	Різь	–
013	Канавки	–	027	Рифлення	Рифл.
014	Контур	К-р	028	Ступінь	Ступ.
015	Конус	Кон.	029	Сфера	–
016	Лиска	–	030	Торець	–
017	Лиски	–	031	Торці	–
018	Отвір	Отв.	032	Фаска	–
019	Отвори	–	033	Фаски	–
020	Паз	–	034	Черв’як	Черв.
021	Пази	–	035	Циліндр	Цил.
022	Поверхня	Пов.			

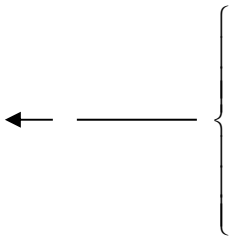
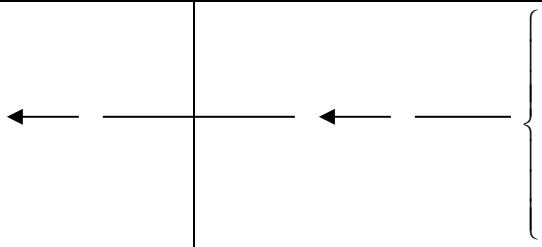
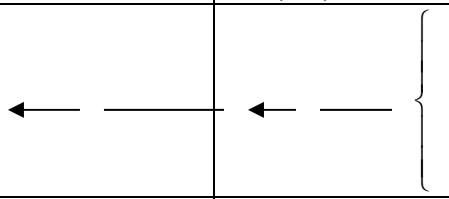
Додаток 39

Додаткова інформація, яка використовується у формулюваннях переходів при обробці різанням

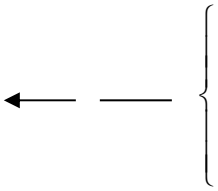
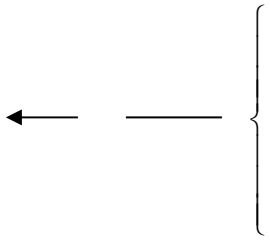
Код	Найменування допоміжної інформації		Код	Найменування допоміжної інформації	
	повне	скорочене		повне	скорочене
01	Внутрішня	Внутр.	01	Остаточно	Остат.
02	Глухе	Глух.	02	Одночасно	Одночас.
03	Кільцьова	Кільц.	03	За копіром	За копір.
04	Конічна	Конічн.	04	За програмою	За прогр.
05	Криволінійна	Криволін.	05	Послідовно	Посл.
06	Зовнішнє	Зовн.	06	Попередньо	Попер.
11	Крізне	Крізн.	07	З підрізанням торця	З підріз. Торця
12	Спіральна	Спір.			
15	Ступінчаста	Ступ.	08	З підрізанням торців	З підріз. Торців
16	Ущільню-вальна	Ущільн.			
20	Фасонна	Фасон.	09	Згідно з креслення	Зг. кресл.
25	Шліцьовий Шпонковий	Шліц.		Згідно з ескізом	
26	Т-подібний	Шпон.	10		Зг. еск.
27	“Ластівчин хвіст”	–			
28		–			

Додаток 22

Приблизні маршрути обробки внутрішніх циліндричних поверхонь

Послідовність операцій при обробці до квалітету		
JT10–JT12	JT11–JT10	JT9–JT7
1, 2, 3 **С** 1, 2, 3 **З** 1, 2, 3 **РТ** 4 **С**, ТО 4 **З**, ТО 4 **РТ**, ТО		
	1, 3, 3 С, З, Р 1, 2, 3 С, З, **РТ** 1, 2, 3 С, **РТ**, Р 4 С, З, ТО, **Ш** 4 С, **РТ**, ТО 4 Зп, Зч, ТО, **Ш**	
		1, 2, 3 **РУ**, Р 1, 2, 3 С, **З**, Рп, Рч 1, 2, 3 С, РТп, **РТч** 1, 2, 3 С, З, **АР** 1, 2, 3 **С**, П 4 С, РТ, ТО, **Ш** 4 РТп, Рч, ТО, **Ш** 4 С, З, ТО, **Ш** 4 **РУ**, ТО, Х
		

Продовження додатку 22

Послідовність операцій при обробці квалітету			Шорсткість, мкм
JT6	JT5	JT4–JT3	
			Rz = 80…20
			Rz 20 – Ra 2,5
			Ra = 1,25…0,63
1, 2, 3 **РУ**, Рп, Рч 1, 2, 3 С, **З**, Рп, Рч 1, 2, 3 С, З, АРп, **АРч** 1, 2, 3 РТ, АРп, **АРч** 1, 2, 3 С, З, П 4 РТ, ТО, **Ш**, Х 4 С, З, ТО, **Ш**, Х 4 С, **П**, ТО, Х 4 **РУ**, Р, ТО,Х	4 РТ, ТО, **Ш**, Х, Д 4 С, **З**, ТО, **Ш**, Х, Д 4 С, **П**, ТО, Хп, Хч 4 **РУ**, ТО, Х, Д 4 С, РТ, **АР**, ТО, Х, Д		Ra = 0,32…0,16
	2 **РУ**, Х, Дп, Дч 2 С, **З**, Р, Х, Дп, Дч 4 **РУ**, Р, ТО, Х, Дп, Дч 4 С, **З**, Р, ТО, Др, Дч 4 **С**, П, ТО, Х, Д 4 РТ, **АР**, ТО, Дп, Дч 4 С, РТ, **АР**, ТО, Х,Д	4 **РУ**, Р, ТО, Х, Дп, Дч 4 С, **З**, Р, ТО, Дп, Дч 4 **С**, П, ТО, Х, Дп, Дч 4 РТ, **АР**, ТГ, Дп, Дч 4 С, РТ, **АР**, ТО, Х, Дп, Дч	Ra = 0,08…0,04
		4 **РУ**, Р, ТО, Х, Дп, Дч, Дт 4 С, **З**, Р, ТО, Дп, Дч, Дт 4 **С**, П, ТО, Х, Дп, Дч, Дт 4 РТ, **АР**, ТО, Дп, Дч, Дт 4 С, РТ, **АР**, ТО, Х, Дч, Дт	Rz = 0,1…0,025

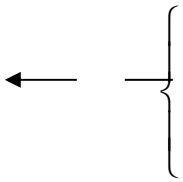
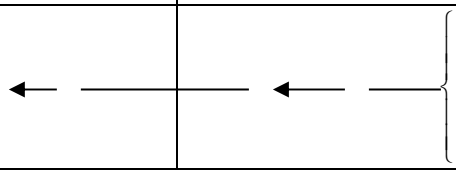
Позначення: С – свердління (розсвердлювання), З – зенкування (координатне), РУ – рушничне свердління, Р – розвертування, РТ – розточування, АР – алмазне розточування, П – протягування, Ш – шліфування, Х – хонінгування, Д – доводка, ТО – термічна обробка; п – попереднє, ч – чистове, т – тонке; 1 – незагартовані сталі, 2 – чавуни, 3 – кольорові метали та сплави, 4 – загартовані сталі.

Додаток 23

Приблизні маршрути обробки плоских поверхонь

Послідовність операцій при обробці до квалітету		
JT14–JT12	JT11–JT10	JT9–JT7
1, 2, 3 **С** 1, 2, 3 **Ф** 1, 2, 3 **О** 4 **С**, ТО 4 **Ф**, ТО 4 **О**, ТО		
← —	1, 2, 4 ТО, **Шп** 1, 2, 3 Фп, **Фч** 1, 2 Ф, **Шп** 4 Ф, ТО, **Шп** 4 С, ТО, **Шп** 4 О, ТО**, Шп**	
← —	← —	1, 2, 3 С, **П** 1, 2, 3 Ф, **П** 1, 2 Ф, **Шч** 4 Ф, ТО, **Шч** 4 О, ТО, **Шч** 4 С, ТО, **Шч**
← —	← —	**3 Фп**, Фч, **ПОч** **3 Оп,** Оч**, Поч**
		3 Фп, Фч**, ПОч, ПОт** 3 Оп, **Оч**, ПОч, ПОт
		← —

Продовження додатку 23

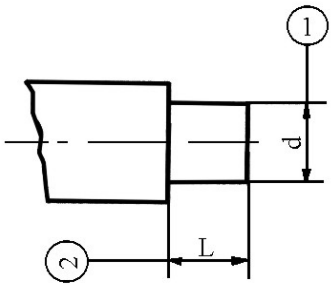
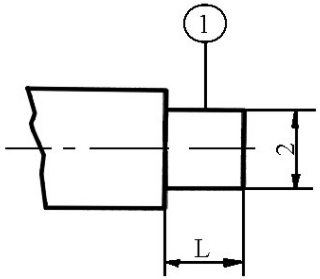
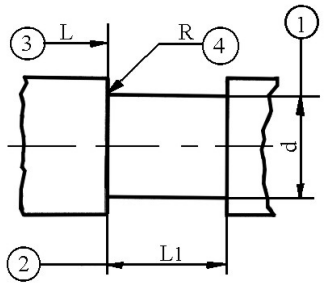
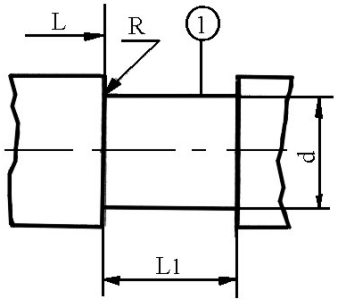
Послідовність операцій при обробці квалітету			Шорсткість, мкм
JT6	JT5	JT4–JT3	
			Rz=80÷20
			Rz 20–Ra 2,5
1, 2 Фп, Фч, **Шч** 3 Фп, **Фч**, ПО 4 Фп, Фч, ТО, **Шч** 4 Оп, Оч, ТО, **Шч**			Ra=1,25÷0,63
1, 2, 3 С, **Фт**, ШБ 1, 2, 3 Фп**, Фт**, ШБ 1, 2 Фп, Фч, **Шч**, ПО 4 Фп, Фч, ТО, **Шч**, Д 4 С, Фт, ТО, **Шч**, Д 4 Ф, ТО, Шп, **Шч**, Д 4 О, Шп, ТО, **Шч**, Д	4 С, ТО, Шч, **Шт**, Д 4 Ф, ТО, Шч, **Шт**, Д 4 Ф, Шп, ТО, Шч, **Шт**, Д 4 О, Шп, ТО, Шч, **Шт**, Д		Ra=0,32÷0,16
	1, 2 Ф, Шп, Шч **Шт**, ПО 4 С, ТО**,** Шп, Шч**,** Шт 4 Ф, ТО, Шп, Шч, **Шт** 4 Ф, ТО, Шп, Шч, **Шт**, Д 4 О, ТО, Шп, Шч, **Шт**,Д	4 С, ТО, Шп, Шч, **Шт**, Дп, Дч 4 Ф, ТО, Шп, Шч, **Шт**, Дп, Дч 4 О, ТО, **Шп**, Шч, **Шт**, Дп, Дч 4 Ф, ТО, Шп, **Шч**, Дп, Дч	Ra=0,08÷0,04
		4 С, ТО, Шп, Шч, **Шт**, Дп, Дч, Дт 4 Ф, ТО, Шп, Шч, **Шт**, Дп, Дч, Дт 4 О, ТО, Шп, **Шч**, Дп, Дч, Дт	Rz=0,1÷0,025

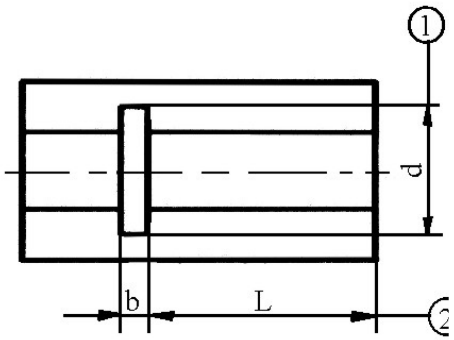
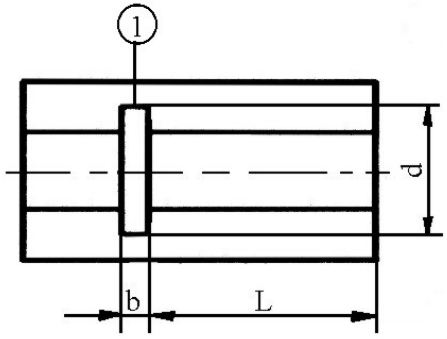
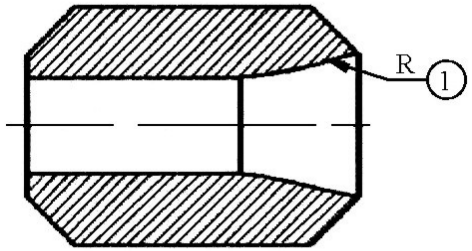
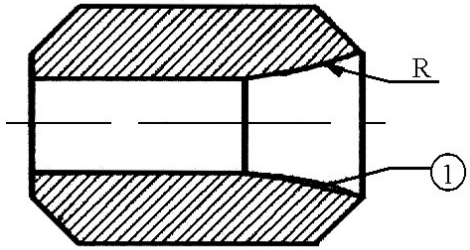
Позначення: С – стругання, Ф – фрезерування, П – протягування, О – обточування торців; Ш – шліфування, ШБ – шабріння, ПО – полірування, Д – доводка, ТО – термічна обробка; п – попереднє, ч – чистометали та сплави, 4 – загартовані сталі.

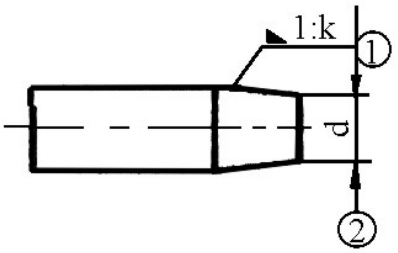
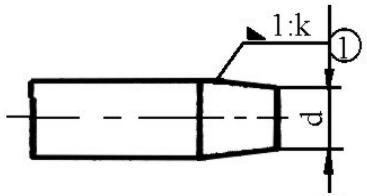
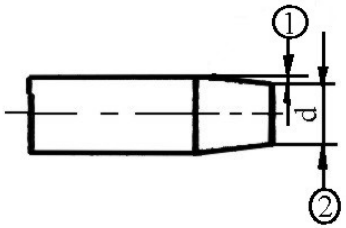
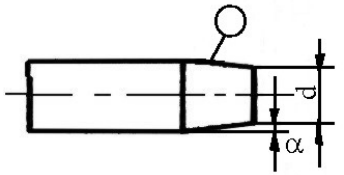
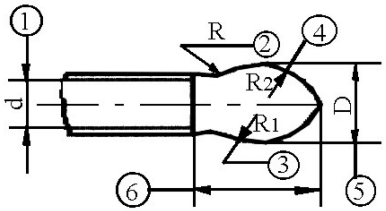
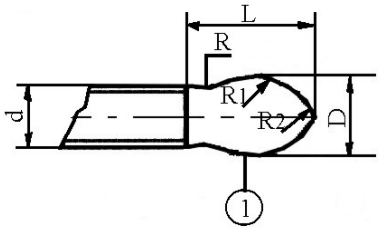
Примітка: Напівжирним шрифтом виділені операції, які формують похибки розташування поверхонь.

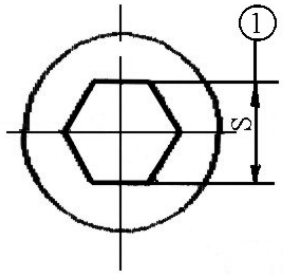
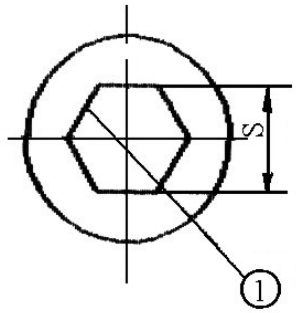
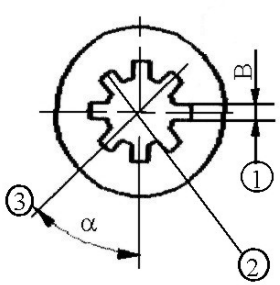
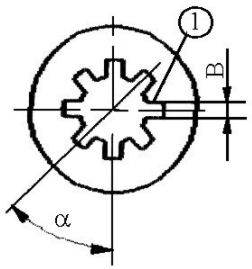
Додаток 35

Приклади повного і скороченого записів змісту переходів обробки різанням

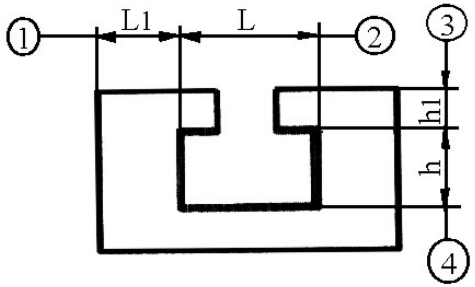
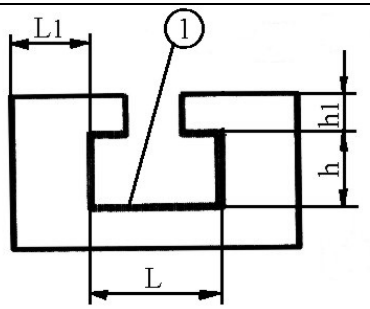
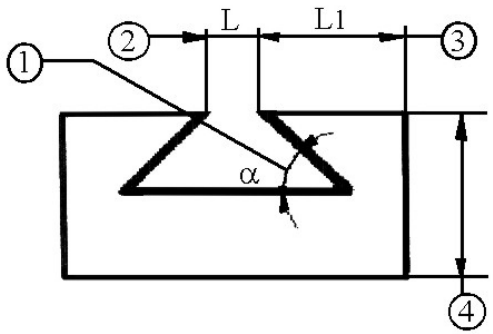
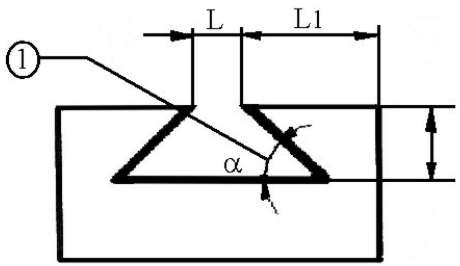
Ескіз	Запис переходу повний	Ескіз	Запис переходу скорочений
1	2	3	4
	Точити (шліфувати, притерти тощо) поверхню, витримуючи розміри 1 і 2		Точити (шліфувати, притерти, полірувати тощо) поверхню 1
	Точити (шліфувати, полірувати тощо) виточку, витримуючи розміри 1–4		Точити (шліфувати, полірувати тощо) виточку 1

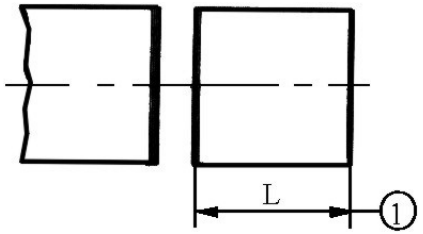
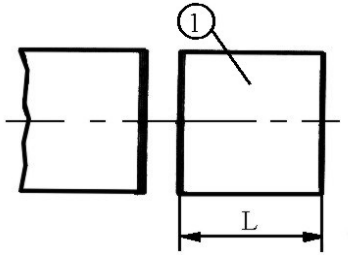
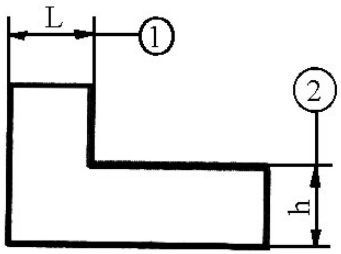
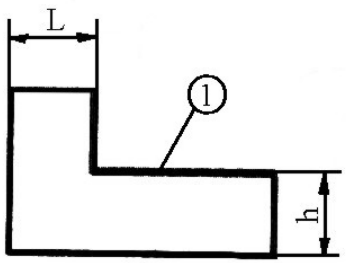
1	2	3	4
	Розточити канавку, витримуючи розміри 1–3		Розточити канавку 1
	Розточити (зенкувати, шліфувати, полірувати тощо) галтель, витримуючи розмір 1		Розточити (зенкувати, шліфувати, полірувати тощо) галтель 1

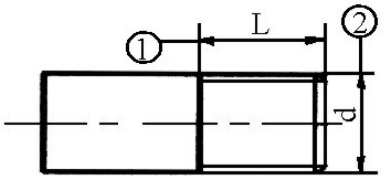
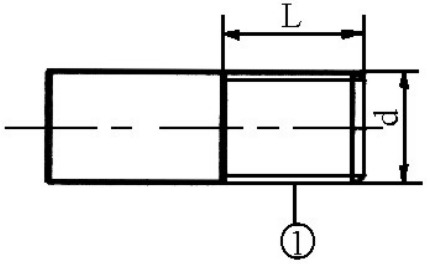
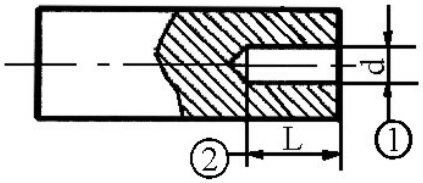
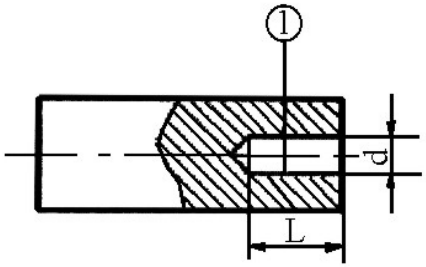
1	2	3	4
	Точити (шліфувати, притерти тощо) конус, витримуючи розміри 1 і 2		Точити (шліфувати, притерти тощо) конус 1
			
	Точити (шліфувати, палірувати тощо) криволінійну поверхню, витримуючи розміри 1–6		Точити (шліфувати, полірувати тощо) криволінійну поверхню 1

1	2	3	4
	Довбати (протягнути) шестигранник, витримуючи розмір 1		Довбати (протягнути) шестигранник 1
	Довбати (протягнути) шліці, витримуючи розміри 1–3		Довбати (протягнути) шліці 1

* Формулювання переходів наведено з допустимими скороченнями слів

1	2	3	4
 А	Фрезерувати (протягувати) паз витримуючи розміри 1–4	 А	Фрезерувати (протягувати) паз 1
			

1	2	3	4
	Відрізати дві заготовки, витримуючи розмір 1		Відрізати дві заготовки 1
	Фрезерувати (стругати, шліфувати тощо) уступ, витримуючи розміри 1 і 2		Фрезерувати (стругати, шліфувати тощо) уступ 1

1	2	3	4
	Нарізати (фрезерувати, накатати, шліфувати тощо) різь, витримуючи розміри 1 і 2		Нарізати, (фрезерувати, накатати тощо) різь 1
	Свердлити (розсвердлити, зенкерувати, розвернути тощо) отвір, витримуючи розміри 1 і 2		Свердлити (розсвердлити, зенкерувати, розвернути тощо) отв. 1

Додаток 33

Точність розташування циліндричних отворів рр.ц.

Вид обробки та обладнання	Метод координації інструменту	Відстань до отвору, мм				Питомий перекіс (мкм) на 1 мм довжини отвору			
						отвори			
		до 50	50–120	120–260	260–500	до 10	10–30	30–50	більше 50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лиття в земляні форми		±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	–	20–10	15–5	10–3
Лиття в кокіль		±0,3	±0,5	±0,75	±1,0	–	–	–	–
Лиття точне (під тиском, коркове лиття по виплавлюваних моделях)		±0,15	±0,2	±0,25	±0,35	4,0–2,0	3,0–1,5	2,0–1,0	1,5–0,7
Вільне кування		±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	–	–	–	–
Штампування звичайної точності		±0,5	±0,7	±1,0	±1,5	–	–	–	–
Штампування підвищеної точності		±0,3	±0,5	±0,75	±1,0	–	–	–	–
Свердління на свердлильних та радіально-свердлильних верстатах	По розмітці	±0,5	±0,7	±0,8	±1,0	4,0–2,0	3,0–1,5	2,0–1,0	1,5–0,8

Продовження додатку 33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Свердління на свердлильних та радіально-свердлильних верстатах	По кондуктору зі змінними втулками нормальної точності	±0,1	±0,15	±0,2	±0,25	2,0–1,5	1,8–1,6	1,5–0,7	1,0–0,5
	По кондуктору із втулками, що обертаються, підвищеної точності	±0,035	±0,04	±0,05	±0,06	1,0–0,7	0,8–0,5	0,6–0,4	0,5–0,3
	Рушницькими свердлами	±0,035	±0,04	±0,05	±0,06	0,8–0,5	0,6–0,3	0,4–0,2	0,3–0,1
Розточування отворів на горизонтально-розточних верстатах	По розмітці	±0,04	±0,6	±0,7	±0,8	3,0–2,0	2,0–1,0	1,0–0,8	0,5–0,3
	По шкалі з ноніусом	±0,15	±0,2	±0,3	±0,4	–	–	–	–
	По штихмасу	±0,05	±0,07	±0,1	±0,12	–	–	–	–
	По кінцевих мірах	±0,03	±0,04	±0,05	±0,06	–	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розточування отворів на алмазно-розточувальних верстатах	По ноніусу	±0,02	±0,025	±0,03	±0,04	–	–	–	–
Розточування на координатно-розточувальних верстатах	По шкалі з ноніусом	±0,02	±0,03	±0,04	±0,05	–	–	–	–
	По оптичних приладах	±0,005	±0,01	±0,015	±0,02	–	–	–	–

Примітка. Наведені в таблиці величини похибок розташування отворів дійсні для інтервалу діаметрів отворів 18–30. При обробці отворів інших розмірів табличні величини необхідно помножити на коефіцієнт К:

Діаметр, мм	10–18	18–30	30–50	більше 50
К	0,8	1,0	1,2	1,6

Додаток 34

Технологічні документи, які використовують при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей (згідно з ГОСТ 3.1119-83 і ГОСТ 3.1121-84)

Виробництво	Технологічний процес	Технологічні документи, які використовують при описі технологічного процесу (операції)		
		маршрутному	маршрутно-операційному	операційному
Одиничне	Одиничний	ТЛ, МК^{Х}, ВО, КК, КЕ	ТЛ, КТП^{Х}, ВО, КК, КЕ	–
Дрібносерійне		ТЛ, МК^{Х}, ВО, КК, КТІ^{Х}, КЕ	ТЛ, МК^{Х}, ВО, КК, КТІ, КЕ	–
Середньосерійне		–		ТЛ, МК^{Х}, ВО, КК, ОК^{Х}, КЕ
Великосерійне		–		ТЛ, МК^{Х}, ВО, КК, ВОП^{Х}, ОК^{Х}, КЕ
Масове		–		ТЛ, МК, КТП^{Х},ВО,КК, ОК^{Х},КЕ
Одиничне	Типовий, груповий	ТЛ, МК^{Х}, ВТО, ВТП^{Х}, ВО, КК, КЕ	ТЛ, МК^{Х}, ВТД, ВО, КК, КТІ^{Х}, КЕ	ТЛ, МК^{Х}, ВТД, ВО, КК, КТІ^{Х}, КЕ
Серійне – масове			ТЛ, КТТП^{Х}, ВТД, ВТП^{Х}, ВО, КК, КЕ	ТЛ, КТТП^{Х}, ВТД, ВО, КК, КТІ, КЕ

Додаток 36

Перелік операцій обробки різанням

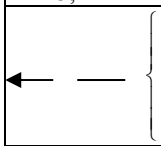
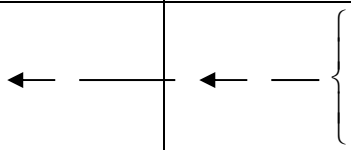
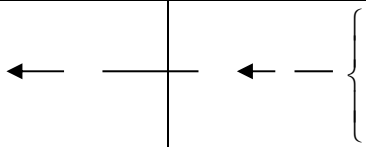
Номер		Операція	Номер		Операція
операції	групи операцій		операції	групи операцій	
1	2	3	4	5	6
01	01	Автоматно-лінійна	12	04	Зуботокарна
02	02	Агрегатна	13	04	Зубофрезерна
03	03	Довбальна	14	04	Зубохонінгувальна
04	04	Зубодовбальна	15	04	Зубошевінгувальна
05	04	Зубозакругляюча	16	04	Спеціальна
06	04	Зубонакатувальна	17	04	Зубооброблювальна
07	04	Зубообкатувальна			
08	04	Зубоприоблювальна	18	04	Шліценакатувальна
09	04	Зубопритирочна	19	04	Шліцестругальна
10	04	Зубопротягувальна	20	04	Шліцефрезерна
11	04	Зубострогальна	21	05	Комбінована
			22	06	Віброабразивна
23	06	Галтувальна	56	13	Поздовжньо-стругальна
24	06	Оздоблювальна	57	14	Автоматна токарна
25	06	Обпилювальна	58	14	Вальцетокарна
26	06	Полірувальна	59	14	Лоботокарна
27	06	ритир очна	60	14	Різетокарна
28	06	Суперфінішна	61	14	Спеціальна токарна

1	2	3	4	5	6
29	06	Хонінгувальна	62	14	Токарно-безцентрова
30	07	Абразивно-відрізна	63	14	Токарно-гвинторізна
31	07	Токарно-відрізна	64	14	Токарно-затилувальна
34	07	Токарно-відрізна	65	14	Токарно-карусельна
35	07	Фрезерно-відрізна	66	14	Токарно-копірувальна
36	08	Розточувальна з ЧПК	67	14	Токарно-револьверна
37	08	Свердлильна з ЧПК	68	14	Торцепідрізна
38	08	Токарна з ЧПК			центрувальна
39	08	Фрезерна з ЧПК	69	15	Барабанно-фрезерна
40	08	Шліфувальна з ЧПК	70	15	Вертикально-фрезерна
41	09	Вертикально-протягувальна	71	15	Горизонтально-
42	09	Горизонтальнопротягувальна			фрезерна
43	10	Алмазно-розточувальна	72	15	Гравірувально-фрезерна
44	10	Вертикально-	73	15	Карусельно-фрезерна
		Розточувальна	74	15	Копіровально-фрезерна
45	10	Горизонтально-	75	15	Продольно-фрезерна
		розточувальна	76	15	Різефрезерна
46	10	Координатно-	77	15	Спеціальна-фрезерна
		Розточувальна	78	15	Універсально-фрезерна
47	11	Болтонарізна	79	15	Фрезерно-центрувальна

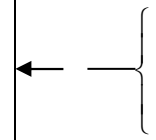
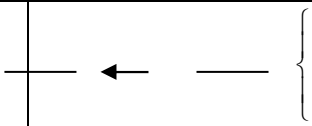
1	2	3	4	5	6
48	11	Гайконарізна	80	15	Безцентрово-шліфувальна
49	11	Різенакатувальна	81	16	Вальцешліфувальна
50	12	Вертикально-	82	16	Внутрішньошліфувальна
		свердлильна	83	16	Заточувальна
51	12	Горизонтально-	84	16	Карусельно-шліфувальна
		свердлильна	85	16	Координатно-шліфувальна
52	12	Координатно-	86	16	Круглошліфувальна
		свердлильна	87	16	Стрічко-шліфувальна
53	12	Радіально-	88	16	Обдирально-шліфувальна
		свердлильна	89	16	Плоскошліфувальна
54	12	Свердлильно	90	16	Різешліфувальна
		центрувальна	91	16	Торцешліфувальна
55	13	Поперечно-стругальна	93	16	Центрошліфувальна
			94	16	Шліфувальна спеціальна
			95	16	Шліфувально-затилувальна

Додаток 21

Приблизні маршрути обробки зовнішніх циліндричних поверхонь

Послідовність операцій при обробці до квалітету						Шорсткість, мкм
JT14–JT12	JT11–JT10	JT9–JT7	JT6	JT5	JT4–JT3	
1	2	3	4	5	6	7
1, 2, 3 **О** 4 **О**, ТО 1 **Ш** 4 ТО, **Ш**						Rz = 80…20
	1, 2, 3 Оп, **Оч** 1, 2 О, **Ш** 4 Оп, **Оч**, ТО 4 Оп, ТО, **Ш**					Rz 20 – Ra 2,5
		1, 2, 3 Оп, Оч, **От** 1, 2 О, **Ш** 1 Шп, **Шч** 4 О, ТО, **Ш** 4 Шп, ТО, **Ш**				Ra = 1,25…0,63
		3 Оп, **Оч**, ПО 3 **О**, ПОп, ПОч, 3 О, Оч, **О**т	1, 2, 3, Оп, Оч, **От**, ПО 1 О, Шп, **Шт**, ПО 1 О, **Ш**, С 4 О, Шп, ТО, **Шт** 4 О, Шп, ТО, **Шт**, С 4 О, ТО, **Шч**, С	4 Оп, Оч, ТО, **Шч**, С 4 О, Шп, ТО, Шч, **Шт**, С 4 О, Шп, ТО, Шч, Д 3 О, Оч, **От**		Ra = 0,32…0,16

Закінчення додатку 21

1	2	3	4	5	6	7
		3 Оп, **Оч**, Поп, Поч 3 Оп, Оч, **От**, ПОч, ПОт 4 Оп, Тот, Шп, **Шт**, По		1Оп, Оч, Шп, **Шч**, Сп, Сч 4 Оп, Оч, ТО, **Шч**, Сч 4 Оп, Оч, ТО, **Шч**, Шт, Д 4 Оп, Оч, ТО, **Шч**, Дп, Дч 4 Ш, ТО, **Ш**, Сп, Сч		Ra = 0,08…0,04
					4 Оп, Оч, ТО, Шч, **Шт,** Дп, Дч, Дт 4 Ш, ТО, Шп, **Шт**, Дп, Дч, Дт	Rz = 0,1…0,025

ПОЗНАЧЕННЯ: О - обточування, Ш - шліфування, С - суперфінішування; ПО - полірування, Д - доводка, ТО - термічна обробка; п - попереднє, ч - чистове, т - тонке; 1 - незагартовані сталі, 2 - чавуни, 3 - кольорові метали та сплави, 4 - загартовані сталі.

ПРИМІТКА: Напівжирним шрифтом виділені операції, які формують похибки розташування поверхонь.

Додаток 30

Операційні припуски та середньостатистичні допуски на розміри довжин при обробці торцевих поверхонь на токарних, фрезерних та шліфувальних верстатах, мм

Довжина деталі	Попереднє підрізання					Граничне відхилення за h12	Підрізання чистове					Граничне відхилення за h11	Шліфування					Граничне відхилення за h10
	Припуск при найбільшому розмірі торця						Припуск при найбільшому розмірі торця						Припуск при найбільшому розмірі торця					
	до 18	понад 18 до 50	понад 50 до 120	понад 120 до 260	понад 260		до 18	понад 18 до 50	понад 50 до 120	понад 120 до 260	понад 260		до 18	понад 18 до 50	понад 50 до 120	понад 120 до 260	понад 260	
До 10	–	–	–	–	–	–	0,5	0,5	0,6	1,0	–	-0,09	0,2	0,2	0,2	0,3	–	-0,058
Понад 10 до 18	1,2	1,2	1,4	–	–	-0,18	0,5	0,5	0,7	1,0	–	-0,11	0,2	0,3	0,3	0,3	–	-0,070
18 30	1,2	1,3	1,5	2,0	–	-0,21	0,5	0,6	0,7	1,0	–	-0,13	0,2	0,3	0,3	0,4	–	-0,084
30 50	1,2	1,3	1,5	2,0	–	-0,25	0,5	0,6	0,7	1,0	–	-0,16	0,3	0,3	0,3	0,4	–	-0,100
50 80	1,5	1,6	1,8	2,2	2,5	-0,30	0,7	0,7	0,8	1,0	1,0	-0,19	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	-0,120
120 180	1,5	1,6	1,8	2,2	2,5	-0,35	0,7	0,7	0,8	1,0	1,0	-0,22	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	-0,140
80 120	1,8	1,8	2,0	2,5	2,8	-0,40	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	-0,25	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	-0,160
180 260	1,8	1,8	2,0	2,5	2,8	-0,46	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	-0,29	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	-0,185
260 360	2,2	2,2	2,5	3,0	3,2	-0,57	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	-0,36	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	-0,220
360 500	2,2	2,2	2,5	3,0	3,2	-0,63	1,0	1,0	1,2	1,2	1,4	-0,40	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	-0,250
Понад 500	2,4	2,5	2,8	3,2	3,5	-0,70	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	-0,44	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	-0,280

Пояснення до користування таблицею:

1 Наведені в таблиці розміри припусків подані на один бік.

2 Припуски для попереднього підрізання необхідно враховувати при призначенні розмірів заготовок, що відрізаються з прокату чи отримуються обдиркою після кування та лиття.

3 При обробці валів із уступами припуск брати на кожний уступ окремо виходячи з його діаметра і загальної довжини вала.

4 Операційні допуски наведені для попередніх операцій. Для остаточних операцій допуски призначаються за кресленням деталі, якщо вони менше табличних.

5 Відхилення можна застосовувати як для розміра від одного оброблюваного торця до бази, так і для відстані між двома торцями при одночасній їх обробці.

6 Вказані відхилення використовують тільки в тому випадку, якщо вони не визначаються розрахунками технологічних розмірних ланцюгів.

ГОСТ 1105-84 Форма 2

Дубл.
Взам.
Подп.

ЧІТІ	ЧІТІ. 440542.080		ЧІТІ. 10188

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

УЗГОДЖЕНО

(Представник підприємства)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ

ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ
ПРИЗМИ ЧІТІ. 440542.080

Завідувач кафедрою *Боровик А.І*

Керівник проекту

Консультант

Розроблювач
Група ТМ

ТЛ

Додаток 13

Форма 1

ГОСТ 3.1118-82

Дубл.
Взам.
Подп.

3 | 1

Розроб.

ЧІТІ | ЧІТІ. 440542.080 | ЧІТІ. 01101 | ЧІТІ. 10188

Н.контр.

ПРИЗМА

М 01

М 02

Код	ЕВ	МД	ЕН	Н.расх.	КИМ	Код загот.	Профиль и размеры	КД	МЗ

	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Тп.з.	Т шт.
А 03	001			005	В601 Комплектувальна		10П	N1								
Б 04	Стіл комплектувальника					1	12837	2		1	СП					
0 05	1. Підібрати деталі і вузли, які входять в складальну одиницю, подати їх															
06	на робоче місце															
07																
08																
А 09	001			010	0200 Контрольна		10П	N2								
Б 10	Стіл контролера					1	12950	4		1	СП					
0 11	1. Перевірити деталі і вузли на відповідність плинним змінам в															
12	конструкторській документації															
13																
0 14	2. Провести зовнішній огляд. Гострі кромки, задирки, сліди від ударів,															
15	пошкодження захисних покритть, корозія на металевих деталях															
16	не дозволяються															

МК | МАРШРУТНАЯ КАРТА

Продовження додатку 13

ГОСТ 3. 1118-82 Форма 1а

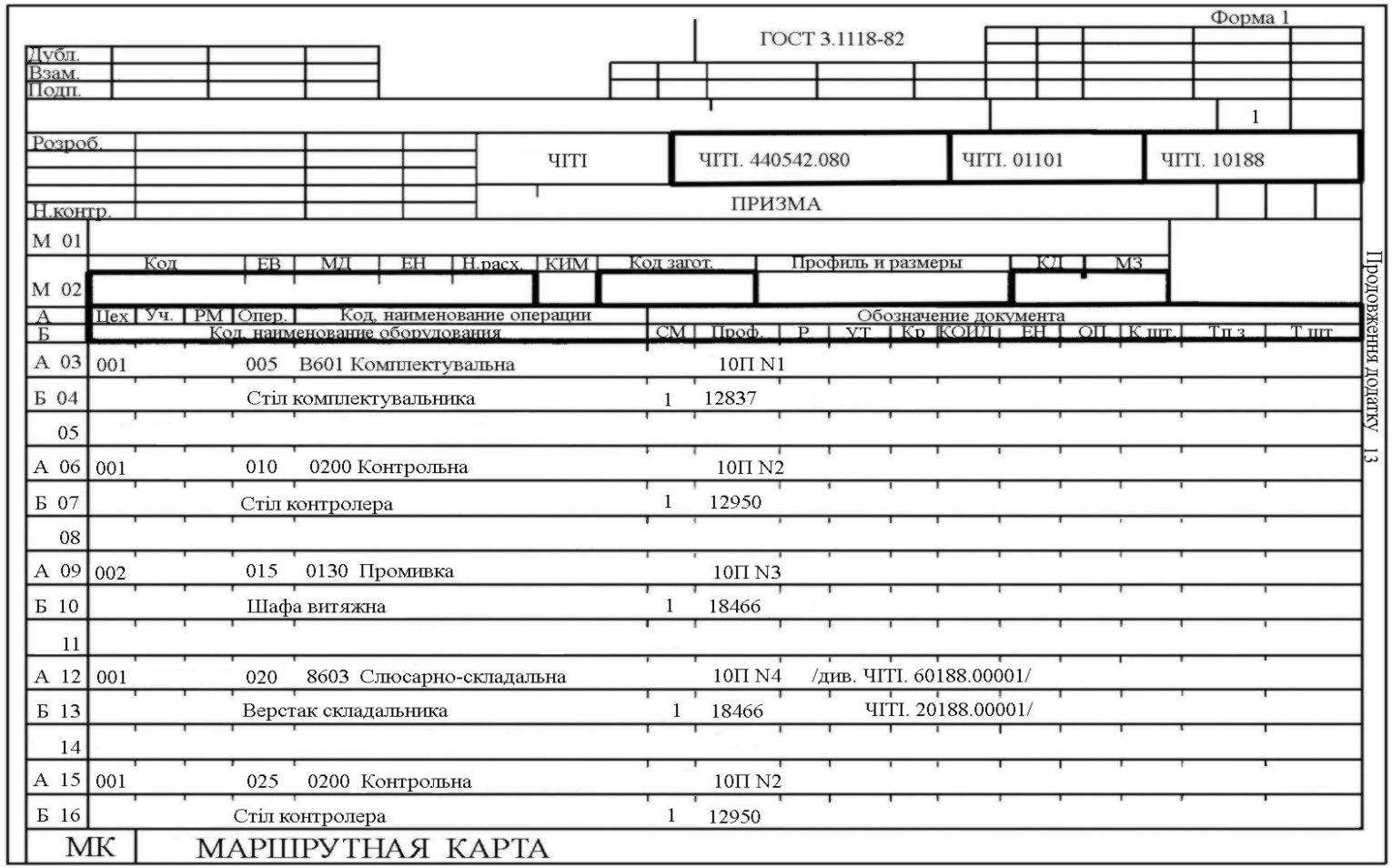
МК						ЧІТІ. 01101							ЧІТІ. 10188				2
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа											
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	Ут	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т п з	Т шт.	
К/М	Наименование детали, св. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕА	ЕН	КИ	Н расх.	
0 01	3. Перевірити документацію на термін використання допоміжних																
02	матеріалів																
03																	
04																	
А 05	001			015	0130 Промивка							10П N3					
Б 06	Шафа витяжна					1	18466										
0 07	1. Промити металеві деталі в нефрасі і сушити до повного усунення																
08	парів нефрасу																
09																	
Т 10	Ванночка 10.01.150 /3 шт /																
Т 11	Щітка зубна ГОСТ 6388																
12																	
13																	
А 14	001			020	В603 Слюсарно-складальна							10П N4					
Б 15	Верстак складальника					1	18446										
16																	
0 17	1. Вкласти в корпус поз. 3 призму поз. 1 з прокладками поз. 7. 8.																
18	забезпечивши розмір 0,5±0,2 та 1max по периметру																
19																	

Продовження додатку 13

ГОСТ 3. 1118-82 Форма 1а

МК						ЧІТІ. 01101							ЧІТІ. 10188				3
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа											
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	Ут	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т п з	Т шт.	
К/М	Наименование детали, св. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕА	ЕН	КИ	Н расх.	
0 01	2. Встановити корпус поз. 3 з деталями поз. 1, 7, 8 в пристрій																
02	62.01.150-00.000. залити призму по периметру герметиком																
03	УТ-34 чорним, усунути залишки герметика і витримати в																
04	пристрої до повної полімерізації герметика																
0 05	3. Зняти вузол із пристрою																
06																	
Т 07	Пристрій 62.01.150-00.000																
Т 08	Шпатель ЧІТІ. 1001.999																
09																	
10																	
А 11	001			025	0200 Контрольна								10П N2				
Б 12	Стіл контролера						1	12950									
13																	
0 14	1. Провести зовнішній огляд. Задирки, залишки герметику не дозво-																
15	ляються																
0 16	2. Перевірити відхилення від паралельності вхідного і вихідного																
17	променя																
Т 18	Пристрій 62.01.150-00.000																
19																	

Продовження додатку 13



Форма 1

ГОСТ 3.1118-82

Дубл.
Взам.
Подп.

1

Розроб.

ЧІТІ | ЧІТІ. 440542.080 | ЧІТІ. 01101 | ЧІТІ. 10188

Н.контр.

ПРИЗМА

М 01

М 02

Код	ЕВ	МД	ЕН	Н.расх.	КИМ	Код загот.	Профиль и размеры	КД	МЗ

	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Тп з.	Т шт.
А 03	001			005	В601 Комплектувальна		10П N1									
Б 04	Стіл комплектувальника					1	12837									
05																
А 06	001			010	0200 Контрольна		10П N2									
Б 07	Стіл контролера					1	12950									
08																
А 09	002			015	0130 Промивка		10П N3									
Б 10	Шафа витяжна					1	18466									
11																
А 12	001			020	8603 Слюсарно-складальна		10П N4	/див. ЧІТІ. 60188.00001/								
Б 13	Верстак складальника					1	18466	ЧІТІ. 20188.00001/								
14																
А 15	001			025	0200 Контрольна		10П N2									
Б 16	Стіл контролера					1	12950									

МК МАРШРУТНАЯ КАРТА

Продовження додатку 13

Инв.№подл	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№дубл.	Подпись и дата

ГОСТ3. 1407-74 Форма 1

	Операционная карта слесарных, слесарно-сборочных и электро-монтажных работ	ЧІТІ. 01101
		ЧІТІ. 440542.080
		ЧІТІ. 60188.00001
		ПРИЗМА
		Литера

Цех№	Уч.	РМ	Опер.	Наименование операции	Оборудование (наименование, модель)
			020	Слюсарно-складальна	Верстак складальника

	Содержание перехода	Технологический режим	Приспособление (код, наим.)	Инструмент (код, наимен.)	То
	Інструкція по охороні праці №4				
1	Вкласти в корпус поз.3 призму поз.1				
	з прокладками поз. 7,8, забезпечивши				
	розмір 0,5± 0,2 та 1 max по периметру				
2	Встановити корпус поз.3 з деталями поз.1, 7, 8	t=20±5°С	Пристрій 52.01.150-00.000	Шпатель ЧІТІ. 10.01.999	3,6
	в пристрій, залити призму по периметру	Т=48 годин			
	герметиком УТ-34 чорним, усунути залишки				
	герметика і витримати в присрої до повної				
	полімеризації герметика				
3	Зняти вузол з пристрою				

Изм	Лист	№докум	Подпись	Дата	Изм	Лист	№докум.	Подпись	Разраб	Лист
										Л-ов 1

Додаток 14

Инв.№ дубл.	Подпись и дата	Взам.инв.№	Инв.№ подл.	Подпись и дата

ЧІТІ.01101.00001

КАРТА ЭСКИЗОВ

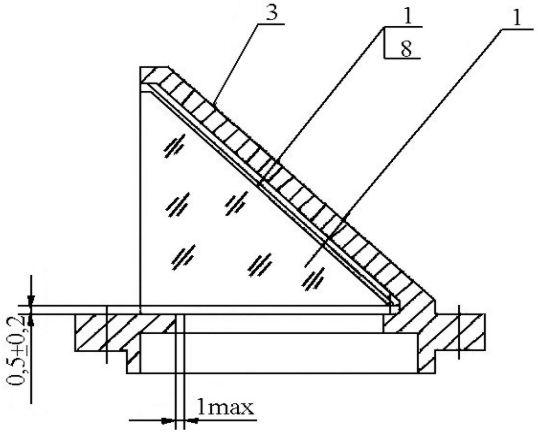
ЧІТІ.440542.0801 ЧІТІ.20188.00001

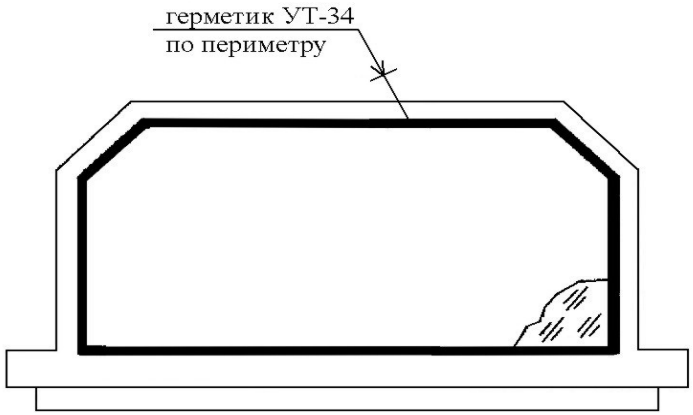
ПРИЗМА

Номер операции

020

Продовження додатку 14





											Разраб.					Лист
											Проверил					
																Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Н.контр.					1

ГОСТ 1105-84 Форма 2

Дубл.
Взам.
Подп.

ЧІТІ	ЧІТІ.715423.001		ЧІТІ.10141

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

УЗГОДЖЕНО

(Представник підприємства)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ

ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ

Важіля ЧІТІ. 715423.001

Завідувач кафедрою *Боровик А.І*

Керівник проекту

Консультант

Розроблювач

Група ТМ

ТЛ

Додаток 40

Форма 1

ГОСТ 3.1118-82

Дубл.
Взам.
Подп.

| | | |

ГОСТ 3. 1118-82 Форма 1а

МК						ЧІТІ. 715423.001										ЧІТІ. 10141		2
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа												
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	Ут	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т п з	Т шт.		
К/М	Наименование детали, св. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕА	ЕН	КИ	Н расх.		
А 01	110			060	4261 Вертикально-фрезерна	10П для фрезерних робіт												
Б 02	3816114411				6Р10	3	06120	2		1	1	1	33		14	1,10		
03																		
А 04	110			070	4261 Вертикально-фрезерна	10П для фрезерних робіт												
Б 05	3816114411				6Р10	3	06120	4		1	1	1	33		14	1,62		
06																		
А 07	110			080	0108 Слюсарна	10П для слюсарних робіт												
Б 08	3890000001				верстак	1	09113	2		1	1	1	33		11	0,42		
09																		
А 10	110			090	4103 Програмно-комбінована	10П дляробіт на верстатах з ЧПУ												
Б 11	3810280007				ВМ500ПМФ4	5	06062	2		1	1	1	33		19	1,47		
12					(ОК додається)													
13																		
А 14	110			100	4114 Токарно-гвинторізна	10П для токарних робіт												
Б 15	3811625224				1А616	3	06100	4		1	1	1	33		14	1,33		
16																		
А 17	110			110	0130 Промивка	10П для мийних робіт												
Б 18	4941120001				Ванна	2	420055	2		1	33	1	33		11	0,36		
19																		

Продовження додатку 40

ГОСТ 3. 1118-82 Форма 1а

МК						ЧІТІ. 715423.001										ЧІТІ. 10141				3
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа														
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	Ут	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т п з	Т шт.				
К/М	Наименование детали, св. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕА	ЕН	КИ	Н расх.				
А 01	110			120	0200 Контрольна	10П для контрольних робіт														
Б 02	4200001917				Стіл контролера	1	06030	4		1	1	1	33		11	0,89				
03																				
А 04				130	0401 Транспортна	10П для транспортних робіт														
05																				
06																				
А 07	118			140	7100 Нанесення покриття	10П для нанесення покриттів														
08					(Окремий ТП)															
09																				
А 10				150	0401 Транспортна	10П для транспортних робіт														
11																				
12					СГД															
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				

Продовження додатку 40

Форма 1

ГОСТ 3.1118-82

Дубл.
Взам.
Подп.

5 | 1

Розроб.	Москаленко		11.03.99	ЧІТІ	ЧІТІ. 715423.001	8И3044.3141844Г	ЧІТІ. 10141
Проверил	Серкав					
Н.контр.				Важіль		

М 01 СЧ18 ГОСТ 1412-85

	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н.расх.	КИМ	Код загот.	Профиль и размеры	КД	МЗ
М 02	31	КГ	1,0	1	1,3	0,83	11	Відливок 225х115х50	1	1,2

	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа	СМ	Проф.	Р	УТ	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Тп.з	Т шт.
А 03	102			010	1100 Ливарна	10П для ливарних робіт											
Б 04					(окремий ТП)												
05																	
А 06				020	0401 Транспортна	10П для транспортних робіт											
07																	
А 08	224			030	5100 Термічна обробка	10П для термічної обробки											
09					(окремий ТП)												
10																	
А 11	224			040	0194 Очистка дробеструменева	10П для дробеструменевих робіт											
Б 12	3675212026				Камера дробеструменева		1	02140									
13					(окремий ТП)												
14																	
А 15				050	0401 Транспортна	10П для транспортних робіт											
16																	

МК МАРШРУТНАЯ КАРТА

Продовження додатку 40

ГОСТ 3. 1118-82 Форма 1а

МК						ЧІТІ. 715423.001						ЧІТІ. 10141				2
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	Ут	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т п з	Т шт.
К/М	Наименование детали, св. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕА	ЕН	КИ	Н расх.
А 01	110			060	4261 Вертикально-фрезерна	10П для фрезерних робіт										
Б 02	3816114411				6Р10	3	06120	2		1	1	1	33		14	1,10
0 03	А Встаноити, закріпити, зняти заготовку															
0 04	1. Фрезерувати пітники урівень з поверхнею відливки															
0 05	2. Скласти деталі в тару															
Т 06	Лещата 7217-0201 ГОСТ 15067-85															
Т 07	Фреза торцева ∅100 2214-0001 ГОСТ 8529-80															
Т 08	Тара виробнича ГОСТ 14861-89															
09																
А 10	110			070	4261 Вертикально-фрезерна	10П для фрезерних робіт										
Б 11	3816114411				6Р10	3	06120	4		1	1	1	33		14	1,62
0 12	А Встановити,закріпити, зняти заготовку.															
0 13	1. Фрезерувати нижню поверхню, витримуючи розмір 57Н12															
0 14	Б Переустановити заготовку															
0 15	2. Фрезерувати полку, витримуючи розміри 25± 0,1. 7 та Ra2,5															
0 16	3. Скласти деталі в тару.															
Т 17	Підкладки цехові															
Т 18	Прижимні планки ГОСТ 12937-67															
Т 19	Фреза торцева ∅100 2210–0075 ГОСТ 9304-79															

Продовження додатку 40

ГОСТ 3. 1118-82 Форма 1а

МК						ЧІТІ. 715423.001							ЧІТІ. 10141			3
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	Ут	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т п з	Т шт.
К/М	Наименование детали, св. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕА	ЕН	КИ	Н расх.
Т 01	Фреза кінцева ∅32 2223-0553 ГОСТ 20538-75															
Т 02	Штангенциркуль ШЦ-1-1254-0,1 ГОСТ 166-80															
Т 03	Зразки шорсткості ГОСТ 9378-75															
Т 04	Тара виробнича ГОСТ 14861-89															
05																
А 06	110			080	0108 Слюсарна							10П для слюсарних робіт				
Б 07	3890000001				Верстак	1	09113									
0 08	1. Зняти задирки, притупити гострі кромки															
0 09	2. Скласти деталі в тару															
Т 10	Терпуг плоский №2 2820-0017 ГОСТ 1465-80															
Т 11	Тара виробнича ГОСТ 14861-89															
12																
А 13	110			090	4103 Програмно-комбінована							10П для робіт на верстатах з ЧПУ				
Б 14	3810280007				ВМ500ПМФ4	5	06062									
15					(ОК додається)											
16																
А 17	110			100	4114 Токарно-гвинторізна							10П для токарних робіт				
Б 18	3811625224				1А616	3	06100									
0 19	А. Встановити заготовку з базою на поверхню ∅57h7. Закріпити. Зняти.															

Продовження додатку 40

ГОСТ 3. 1118-82 Форма 1а

МК						ЧІТІ. 715423.001							ЧІТІ. 10141				4
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа											
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	Ут	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т п з	Т шт.	
К/М	Наименование детали, св. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕА	ЕН	КИ	Н расх.	
0 01	2. Розточити отвір ∅32 до ∅35Н11 напрохід на чисто																
0 02	3. Точити поверхню ∅68 до ∅64Н12																
0 03	4. Притупити гострі кромки																
0 04	5. Скласти деталі в тару.																
Т 05	Пристрій верстатний ЧІТІ. хххххх.ххх																
Т 06	Різець розточний спеціальний ЧІТІ.хххххх.ххх																
Т 07	Різець прохідний прямий 2100-0405 Т15К6 ГОСТ 18878-73																
Т 08	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-80																
Т 09	Тара виробнича ГОСТ 14861-89																
10																	
А 11	110		110	0130 Промивка								10П для мийних робіт					
Б 12	4941120001			Ванна		2	42055										
13																	
А 14	110		120	0200 Контрольна								10П для контрольних робіт					
Б 15	4200001917			Стіл контролера		1	06030										
0 16	1. Контроль розмірів: ∅57h7, 73Н9, ∅10Н9 -100%																
0 17	2. Контроль перпендикулярності 0,025 А, співвісності 0,02 А - 100%																
0 18	3. Контроль розмірів: 25h12, ∅33Н12 -50%																
0 19	4. Контроль інших розмірів згідно кресленню -20%																

Продовження додатку 40

ГОСТ 3. 1118-82 Форма 1а

МК		ЧІТІ. 715423.001	ЧІТІ. 10141	5

	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа										
А						СМ	Проф.	Р	Ут	Кр	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Т п з	Т шт.
Б	Код, наименование оборудования															
К/М	Наименование детали, св. единицы или материала					Обозначение, код						ОПП	ЕА	ЕН	КИ	Н расх.
0 01	5. Скласти деталі в тару.															
Т 02	Пристрій контрольний ЧІТІ. хххххх.ххх															
Т 03	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-80															
Т 04	Штангенциркуль ШЦ-11-160-0,05 ГОСТ 166-80															
Т 05	Калібр-скоба 57h7 ГОСТ 18358-85															
Т 06	Тара виробнича ГОСТ 14861-89															
07																
А 08			130		0401 Транспортна							10П для транспортних робіт				
09																
10																
А 11	118		140		7100 Нанести покриття							10П для нанесення покриттів				
12	(Окремий ТП)															
13																
А 14			150		0401 Транспортна							10П для транспортних робіт				
15																
16	СГД															
17																
18																
19																

Продовження додатку 40

ГОСТ3. 1448-82 Форма 2

Дубл.
Взом.
Подп.

2 1

Разработал
Нормировал
Н.контроль

ЧІТІ | ЧІТІ.715423.001 | ВИ3044.31418441 | ЧІТІ.60140

Важіль | 110 | 090

Дивись ЧІТІ.20140.00001

10П для робіт на верстатах ЧПК

Наименование операции	Материал
Програмно-комбінована	Чавун СЧ18 ГОСТ412-85

Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры	МЗ	КОИД
НВ211	кг	1,0	Відливок 225х115х50	1,1	1

Оборудование, устройства ЧПУ	Обозначение, программы
ВМ500ПММФ4	КП ЧІТІ.715423.001-N001

То	Тв	Тпз	Тшт	СОЖ
1,15	0,21	19	1,47	Емульсія

		ПИ	D или B	L	t	i	S	N	V	Тв	То
0	Встановити заготовку, закріпити, зняти									0,15	
Т	Пристрій спеціальний ЧІТІ. XXXXX,XXX										
0	Зенкерувати отвір ∅50Н12										
		1	50	18	1,2	2	1,1	400	62,8	0,02	0,12
0	Розточити отвори ∅57Н7										
Р		2	57	15	3,5	4	0,18	1000	179,0	0,02	0,4
0	Свердлити овори ∅3,3Н11										
Р		3	3,3	10	1,65	8	0,2	630	6,5	0,02	0,63
ОК											

Додаток 41

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2а

Дубл.
Взам.
Подл.

	Разраб.				Утверд.				ЧІТІ. 715423.001			ЧІТІ.10141		2	
	Нормир.				Н.контр.										
	Соглас.														
Р							ПИ	D или В	L	t	i	S	n	v	
Т 01	Зенкер ∅50 2320-0157 ГОСТ 12489-71														
Т 02	Оправка спеціальна ЧІТІ. ХХХХХХ.ХХХ														
Т 03	Різець розточний 2142-0182 ГОСТ 9795-84														
Т 04	Свердла ∅3,3 ГОСТ 10902-84														
Т 05	Калібр-пробка ∅50Н7 ГОСТ 14810-80														
Т 06	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ГОСТ 166-80														
Т 07	Пристрій контрольний спеціальний ЧІТІ. ХХХХХХ.ХХХ														
08															
09															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															

Продовження додатку 41

Инв.N дубл.	Подпись и дата	Взам.инв. N	Инв.N подл.	Подпись и дата

ЧІТІ.01101.00001

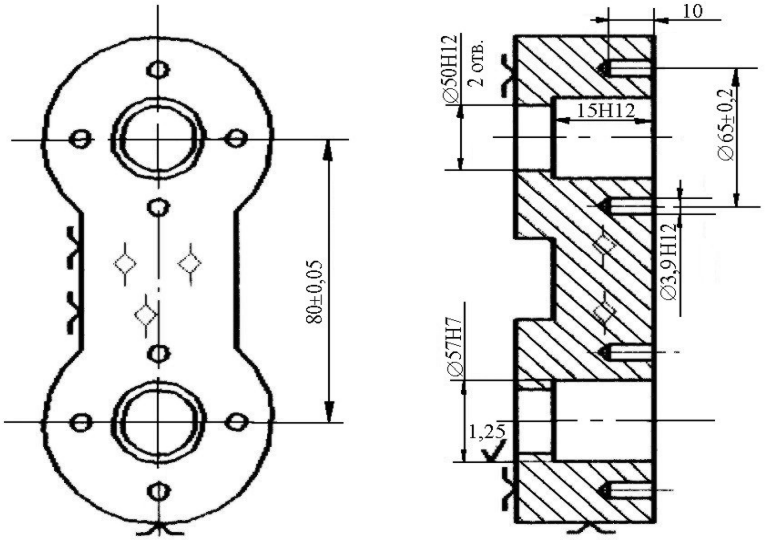
КАРТА ЭСКИЗОВ

ЧІТІ.715423.001

ЧІТІ.20140.00001

12,5

Номер операции
090



Продовження додатку 41

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разраб.				Лист
										Проверил				Лист.
										Н.контр.				1