



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

**В. Л. Пахаренко, М. М. Марчук,
О. В. Пахаренко**



**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ
МАТЕРІАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНОВСТВО
(ОБРОБКА МЕТАЛІВ РІЗАННЯМ)**

Навчальний посібник

Рівне 2018



УДК 621.9 (075.8)

П12

*Рекомендовано вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування.
(Протокол № 10 від 27 грудня 2017 р.)*

Рецензенти:

Кравець С.В., доктор технічних наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне);

Калько А.Д., доктор географічних наук, професор Міжнародного економіко-гуманітарного університету ім. академіка С. Дем'янука (м. Рівне).

В.Л. Пахаренко, М.М. Марчук, О.В. Пахаренко

П12 Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Навч. посібник. / В.Л. Пахаренко, М.М. Марчук, О.В. Пахаренко. – 2-е вид., перероб. і доповн. – Рівне : НУВГП, 2018. – 252 с.

ISBN 978-966-327-379-2

Навчальний посібник написано відповідно до робочої програми дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство» для студентів механічних спеціальностей ВНЗ. Він містить теоретичні відомості про загальні принципи обробки матеріалів різанням, пристрої та інструменти, основні типи металорізальних верстатів. Наведено елементи режимів різання при різних видах обробки та порядок їх розрахунку.

Навчальний посібник призначено для студентів спеціальностей 274 «Автомобільний транспорт», 133 «Галузеве машинобудування», 144 «Теплоенергетика», 145 «Гідроенергетика».

Табл. 9. Іл. 171. Бібліогр. 18 назв.

УДК 621.9.(075.8)

ISBN 978-966-327-379-2

© Пахаренко В.Л., Марчук М.М.,
Пахаренко О.В., 2018
© НУВГП, 2018



Зміст

Передмова.....	6
1. Матеріали для виготовлення різальних інструментів.....	14
1.1. Інструментальні сталі.....	14
1.2. Тверді сплави.....	17
1.3. Мінералокерамічні матеріали.....	18
1.4. Абразивні матеріали.....	18
1.5. Алмаз і синтетичні надтверді матеріали.....	19
2. Фізичні основи процесу різання металу.....	21
2.1. Процес стружкоутворення при різанні металів. Види стружок	21
2.2. Наклеп металу, усадка стружки та наріст.....	22
2.3. Теплота різання.....	27
3. Основні методи обробки металів різанням.....	29
3.1. Заготовки та припуск на механічну обробку.....	29
3.2. Рухи в металорізальних верстатах.....	32
3.3. Основні методи обробки металів різанням.....	33
3.4. Методи формоутворень поверхонь деталей машин.....	36
4. Загальна компоновка металорізальних верстатів.....	39
4.1. Корпусні деталі.....	39
4.2. Шпиндельні вузли.....	42
4.3. Передаточні механізми.....	44
4.4. Механізми періодичного руху.....	52
4.5. Кінематичні схеми.....	55
4.6. Класифікація та маркування металорізальних верстатів.....	58
5. Точіння – як один із методів обробки металів різанням.....	66
5.1. Типи токарних верстатів	66
5.2. Способи кріплення заготовок на токарному верстаті.....	77
5.3. Точіння конусів на токарно-гвинторізному верстаті.....	83
5.4. Класифікація різців. Основні частини та елементи різця.....	86
5.5. Площини та геометричні параметри різця.....	93
5.6. Вплив геометричних параметрів різця на процес різання.....	96
5.7. Кінематичні кути різця.....	99



5.8. Види точіння, елементи режиму різання та переріз зрізуемого шару.....	101
5.9. Сили різання та крутний момент.....	105
5.10. Потужність і середній тиск на різець.....	107
5.11. Методика вибору режимів різання при точінні. Штучний та основний час.....	108
6. Фрезерування – як один із методів обробки металів різанням.....	112
6.1. Типи фрезерних верстатів.....	112
6.2. Типи фрез і основні види фрезерних робіт.....	115
6.3. Елементи будови та елементи різальної частини фрези.....	121
6.4. Пристрої та обладнання фрезерних верстатів.....	122
6.5. Ділильна головка. Просте, безпосереднє та диференційне ділення.....	126
6.6. Схеми фрезерування.....	130
6.7. Елементи режиму різання.....	131
6.8. Сили, крутний момент і потужність.....	134
6.9. Вибір діаметра фрези.....	137
6.10. Методика вибору режимів різання. Основний технологічний час.....	140
7. Обробка отворів на свердлильних верстатах.....	145
7.1. Типи свердлильних верстатів.....	146
7.2. Горизонтально-розточні верстати.....	150
7.3. Утворення та обробка отворів на свердлильних верстатах.....	152
7.4. Типи свердл.....	155
7.5. Будова спірального свердла.....	158
7.6. Зенкери, зенківки, розвертки та інструменти для розточних робіт.....	161
7.7. Елементи процесу різання. Площа зрізу.....	167
7.8. Сили різання, крутний момент і потужність при свердлінні.....	171
7.9. Методика вибору режиму різання при свердлінні, зенкеруванні та розвірчуванні. Основний технологічний час.....	174



8. Стругання та довбання – як один із методів обробки металів різанням.....	178
8.1. Типи стругальних і довбальних верстатів.....	178
8.2. Схеми обробки струганням і довбанням.....	183
8.3. Стругальні та довбальні різці.....	185
8.4. Елементи режиму різання та площа зрізу.....	188
8.5. Методика вибору режимів різання при струганні та довбанні. Основний технологічний час.....	190
9. Шліфування – як один із методів обробки металів різанням.....	193
9.1. Типи шліфувальних верстатів.....	194
9.2. Зв'язка, зернистість і твердість абразивних інструментів. Маркування.....	199
9.3. Види шліфування.....	203
9.4. Стійкість шліфувального круга.....	208
9.5. Елементи процесу різання при шліфуванні.....	210
9.6. Сили різання та потужність.....	212
9.7. Методика вибору режиму різання при шліфуванні. Основний технологічний час.....	214
10. Протягування – як один із методів обробки металів різанням.....	221
10.1. Типи протягувальних верстатів.....	221
10.2. Протягування та схеми різання при протягуванні.....	224
10.3. Типи протяжок, їх конструктивні та геометричні параметри.....	227
10.4. Елементи режиму різання при протягуванні. Площа поперечного перерізу.....	232
10.5. Сили різання.....	233
10.6. Методика вибору режимів різання. Основний технологічний час.....	234
Додаток А.....	239
Додаток Б.....	248
Література.....	251



Передмова

Високу точність виготовлення деталей машин та механізмів забезпечує лише обробка різанням. Вона дозволяє із заготовки, яка відрізняється за формою та розмірами від деталі, отримувати деталь потрібної точності. Розширення масштабів виробництва дозволяє одночасно займатись практичними та теоретичними питаннями обробки різанням. Російський механік А.К. Нартов створив прототип токарного верстата з самохідним супортом. Я. Батищев, Л. Собакін і П. Захава сконструювали багатопшпindelний свердлильний та хонінгувальні верстати. Великий вклад у розвиток теоретичних питань обробки різанням внесли вчені І.Л. Тіме, К.А. Зворикін і Я.Г. Ісачов, які запропонували модель стружкоутворення, обґрунтували її розрахунками та визначили сили різання. А.В. Годолін теоретично обґрунтував принципи використання геометричного ряду частот обертання в ступінчатих приводах головного руху верстатів.

Розвиток машинобудування повинен виконуватись інтенсивним шляхом: за рахунок комплексної автоматизації та механізації, використання прогресивної технології, без збільшення числа робочих місць. В цілях постійного прискорення при виробництві продукції машинобудування передбачається розвиток його за рахунок використання верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), гнучких виробничих модулів та систем, автоматичних ліній на їх основі.

Одним із головних елементів машинобудівного виробництва є інструментальна оснастка, яка забезпечує надійність функціонування кожного окремого верстата та виробничої системи вцілому.

В навчальному посібнику використовуються наступні терміни

Різальний інструмент – інструмент для обробки різанням.

Лезо різального інструменту (лезо) – клиноподібний елемент різального інструменту для проникнення в матеріал заготовки та відокремлення шару матеріалу.

Передня поверхня леза (передня поверхня) – поверхня леза інструменту, яка контактує в процесі різання з шаром, який зрі-



зується і називається стружкою.

Задня поверхня леза (задня поверхня) – поверхня леза інструменту, яка контактує в процесі різання з поверхнями заготовки, яка обробляється.

Різальна кромка – кромка леза інструменту, яка утворюється перетином передньої та задньої поверхонь леза.

Робоча частина різального інструменту – частина різального інструменту, яка має лезо та вигладжувачі при їх наявності.

Кріпильна частина різального інструменту (кріпильна частина) – частина різального інструменту для його установки чи кріплення в технологічному обладнанні або пристосуванні.

Корпус різального інструменту (корпус) – частина різального інструменту, яка несе на собі всі його елементи.

Хвостовик різального інструменту (хвостовик) – кріпильна частина різального інструменту у вигляді стержня.

Посадочний отвір різального інструменту (посадочний отвір) – кріпильна частина різального інструменту у вигляді поверхні отвору.

Види різального інструменту

Лезовий інструмент – різальний інструмент з заданим типом лез установленної форми.

Абразивний інструмент – різальний інструмент виготовлений з абразивних матеріалів і зв'язки.

Металорізальний інструмент – різальний інструмент для обробки металів.

Дереворізальний інструмент – різальний інструмент для обробки деревини та деревних матеріалів.

Дисковий різальний інструмент – різальний інструмент у формі тіла обертання, осьова довжина якого менша його діаметра.

Циліндричний різальний інструмент – різальний інструмент в формі тіла обертання, різальні кромки якого розміщені на циліндричній поверхні.

Конічний різальний інструмент – різальний інструмент в формі тіла обертання, різальні кромки якого розміщені на конічній поверхні.

Пластинчатий різальний інструмент (пластинчатий інстру-



мент) – різальний інструмент в формі пластини.

Цільний різальний інструмент (цільний інструмент) – різальний інструмент, який виготовлено із однієї заготовки.

Складений різальний інструмент (складений інструмент) – різальний інструмент з нероз’ємним з’єднанням його частин і елементів, може бути зварним, клесним, паяним.

Збірний різальний інструмент (збірний інструмент) – різальний інструмент з роз’ємним з’єднанням його частин і елементів.

Насадний різальний інструмент (насадний інструмент) – різальний інструмент з посадочним отвором.

Хвостовий різальний інструмент (хвостовий інструмент) – різальний інструмент з хвостовиком.

Ручний різальний інструмент (ручний інструмент).

Машинний різальний інструмент (машинний інструмент) – інструмент, який використовується в технологічному обладнанні.

Машинно-ручний різальний інструмент (машинно-ручний інструмент) – інструмент, який використовується в якості як ручного, так і машинного різального інструменту.

Розтискний різальний інструмент – інструмент, в якому передбачено регулювання робочої частини шляхом її деформування.

Зуборізний інструмент – різальний інструмент для утворення та обробки зубів.

Різьбонарізний інструмент – різальний інструмент для утворення та обробки різьби.

Інструментальна головка – збірний різальний інструмент, в якому передбачено регулювання розміру робочої частини шляхом переміщення ножів або абразивних брусків.

Лезовий інструмент і його конструктивні елементи

Зуб лезового інструменту (зуб) – виступ на багатолезовому інструменті, який має леза.

Затілований зуб лезового інструменту (затілований зуб) – зуб лезового інструменту, форма задньої поверхні леза якого забезпечує постійність профілю різальної кромки при повторних заточках по передній поверхні.



Незатилований зуб лезового інструменту (незатилований зуб) – зуб лезового інструменту з задньою поверхнею, форма якої не забезпечує постійності профілю різальної кромки при повторних заточках по передній поверхні.

Різальний зуб – зуб лезового інструменту для видалення з заготовки заданого шару припуску. Якщо різальний зуб інструменту призначений для видалення шарів матеріалу з різним перебігом шару матеріалу, який зрізається, то в залежності від його площі, розрізняють чорнові, перехідні та чистові зуби.

Калібруючий зуб лезового інструменту (калібруючий зуб) – зуб лезового інструменту для видалення із заготовки шару матеріалу, який залишився після видалення різальними зубами шару припуску внаслідок пружної деформації заготовки, інструменту, пристосування та верстату.

Вигладжувач лезового інструменту (вигладжувач) – виступ на лезовому інструменті для вигладжування.

Периферійний зуб лезового інструменту (периферійний зуб) – зуб лезового інструменту, який виступає з корпусу в радіальному напрямку. Периферійний зуб може бути зовнішнім або внутрішнім.

Торцевий зуб лезового інструменту (торцевий зуб) – зуб лезового інструменту, який виступає із корпусу в осьовому напрямку.

Гвинтовий зуб лезового інструменту (гвинтовий зуб) – зуб лезового інструменту, різальна кромка якого є гвинтовою лінією.

Стрічкове лезо – порівняно вузька ділянка задньої поверхні леза вздовж різальної кромки з меншими значеннями заднього кута в порівнянні з основною частиною задньої поверхні.

Фаска леза – порівняно вузька ділянка передньої поверхні леза вздовж різальної кромки з меншими значеннями переднього кута в порівнянні з основною частиною передньої поверхні.

Різальна ділянка лезового інструменту (різальна ділянка) – ділянка робочої частини лезового інструменту, яка має леза.

Калібруюча ділянка лезового інструменту (калібруюча ділянка) – ділянка робочої частини лезового інструменту, яка має калібруючі зуби та вигладжувачі.



Різальна пластина – пластина із інструментального матеріалу з лезом, яка є складовою частиною лезового інструменту.

Опорна пластина різального інструменту (опорна пластина) – пластина для установки в лезовому інструменті під різальну пластину з метою зменшення деформації леза при обробці різанням.

Ніж лезового інструменту (ніж) – зуб лезового інструменту, який виготовлений окремо та який утворює з корпусом лезового інструменту роз'ємне з'єднання.

Секція лезового інструменту (секція) – елемент лезового інструменту, який має декілька зубів, виготовлених окремо та які утворюють з корпусом лезового інструменту роз'ємне з'єднання. Частковим випадком секції є сегмент фрези.

Стружкова канавка – канавка між сусідніми лезами інструменту для розміщення та відводу стружки. Стружкові канавки лезового інструменту можуть бути прямими, похилими та гвинтовими.

Стружкороздільна канавка – канавка на задній поверхні леза інструменту поперек різальної кромки для ділення стружки на стрічки.

Стружкозавиваюча канавка – канавка на передній поверхні леза інструменту для завивання стружки, яка сходить.

Стружколом – перешкода на передній поверхні лезового інструменту для ламання стружки. Розрізняють накладний стружколом, стружколомаючу канавку та стружколомаючий поріг.

Види лезових інструментів

Стальний різальний інструмент (стальний інструмент) – лезовий інструмент з лезами із сталі.

Швидкорізальний інструмент – стальний інструмент з лезами з швидкорізальної сталі.

Твердосплавний різальний інструмент (твердосплавний інструмент) – лезовий інструмент з лезами із твердого сплаву.

Мінералокерамічний різальний інструмент (мінералокерамічний інструмент) – лезовий інструмент з лезами із мінералокераміки.

Однолезовий інструмент – лезовий інструмент для обробки



одним лезом.

Багатолезовий інструмент – лезовий, інструмент, леза якого розміщені в напрямку головного руху різання послідовно.

Периферійний лезовий інструмент – лезовий інструмент з периферійними зубами.

Торцювальний лезовий інструмент – лезовий інструмент з торцювальними зубами.

Периферійно-торцевий лезовий інструмент

Лезовий інструмент з механічним кріпленням пластин – збірний лезовий інструмент із роз'ємним з'єднанням різальної пластини з корпусом чи ножем.

Лезовий інструмент з напаяною пластиною – лезовий інструмент, леза якого виготовлені напайкою різальної пластини на корпус чи ніж.

Лезовий інструмент з клеєною пластиною – лезовий інструмент з з'єднанням різальної пластини з корпусом чи ножем за допомогою клею.

Інструмент з наплавним лезом – складений лезовий інструмент, леза якого виготовлені неплавкою інструментальною матеріалу.

Комбінований різальний інструмент – лезовий інструмент, який представляє собою сполучення лезових інструментів різних видів при загальній закріплювальній частині (наприклад, свердло–зенкер, свердло–мітчик тощо).

Праворізальний інструмент – лезовий інструмент для обробки з обертальним головним рухом різання, який направлений по годинниковій стрілці, якщо дивитись з боку закріплювальної частини.

Ліворізальний інструмент – лезовий інструмент для обробки з обертальним головним рухом різання, який направлений проти годинникової стрілки, якщо дивитись з боку закріплювальної частини.

Ротаційний різальний інструмент – збірний лезовий інструмент, колове лезо якого здійснює при обробці обертальний дотичний рух різання.

Профільний різальний інструмент – лезовий інструмент, фо-



рма різальної кромки якого визначена формою обробленої поверхні.

Фасонний лезовий інструмент (фасонний інструмент) – профільний лезовий інструмент, різальна кромка якого при обробці утворює профіль обробленої поверхні одночасно всіма точками різальної кромки.

Обкатний лезовий інструмент (обкатний інструмент) – профільний лезовий інструмент, різальна кромка якого при обробці утворює профіль обробленої поверхні як огинаючої послідовних положень різальної кромки відносно заготовки.

Прямокутний різальний інструмент – багатолезовий інструмент в якого напрямна лінія передньої поверхні леза прямокутний і перпендикулярна до напрямку швидкості головного руху різання (під напрямною лінією передньої поверхні розуміють лінію, по якій рухається точка прямої, яка описує цю поверхню).

Косозубий різальний інструмент – багатолезовий інструмент, в якому напрямна лінія передньої поверхні леза прямокутний та нахилена під кутом до напрямку швидкості головного руху різання.

Різальний інструмент з гвинтовим зубом – багатолезовий інструмент, в якого напрямна лінія передньої поверхні леза є гвинтовою лінією.

Різець – однолезовий інструмент для обробки з поступальним головним рухом різання та можливістю руху подачі в будь-якому напрямку.

Фреза – лезовий інструмент для обробки з обертальним головним рухом різання інструменту без можливості зміни радіуса траєкторії цього руху та хоча б з одним рухом подачі, напрямком якого не співпадає з віссю обертання. Неможливість зміни радіусу траєкторії головного руху різання відрізняє однолезову фрезу від обертового різця.

Осьовий різальний інструмент (осьовий інструмент) – лезовий інструмент для обробки з обертальним головним рухом різання та рухом подачі вздовж осі головного руху різання.

Свердло – осьовий різальний інструмент для утворення отворів в суцільному матеріалі чи збільшення діаметра існуючого отвору.



Зенкер – осьовий різальний інструмент для підвищення точності форми отвору та збільшення його діаметру.

Розвертка – осьовий різальний інструмент для підвищення точності форми та розмірів отвору і зниження шорсткості поверхні.

Зенківка – осьовий багатолезовий інструмент для обробки циліндричної чи торцевої ділянки отвору заготовки.

Мітчик – осьовий багатолезовий інструмент для утворення та обробки внутрішньої різьби.

Плашка – осьовий багатолезовий інструмент для утворення та обробки зовнішньої різьби.

Протяжка – багатолезовий інструмент з рядом послідовно виступаючих одне над другим лез в напрямку, який перпендикулярний до напрямку швидкості головного руху і який призначений для обробки при поступальному чи обертовому головному русі різання та відсутності руху подачі.

Ножівочне полотно – багатолезовий інструмент у вигляді полосої з рядом зубів, які не виступають один над другим і який призначений для відрізання чи прорізування пазів при поступальному головному русі різання.

Напиллок – багатолезовий інструмент з множиною рядів відносно мілких лез, які працюють при поступальному чи обертовому головному русі різання та руху подачі в будь-якому напрямку.

Шевер – багатолезовий інструмент у вигляді зубчатого колеса чи рейки з лезами на бокових поверхнях його зубів для обробки бокових поверхонь зубів, при якій для виконання різання використовується відносне повзання між зубами інструменту та заготовки в процесі їх зачеплення.



1. *Матеріали для виготовлення різальних інструментів*

1.1. Інструментальні сталі. 1.2. Тверді сплави. 1.3. Мінерало-керамічні матеріали. 1.4. Абразивні матеріали. 1.5. Алмаз і синтетичні надтверді матеріали.

Різальні інструменти працюють в умовах великих навантажень, високих температур і тертя. Тому матеріал робочої частини інструменту повинен мати твердість в декілька раз вищу, ніж твердість матеріалу, який обробляється, витримувати навантаження на згин, розтягування, стискання та кручення.

Різальні інструменти повинні мати високу зносостійкість, теплостійкість (червоностійкість), технологічність. Зносостійкість — властивість інструменту протистояти зношуванню. Теплостійкість (червоностійкість) — властивість інструментальних матеріалів зберігати свою твердість, різальні властивості при високих температурах. Технологічність — властивість інструменту оброблятися різанням, зварюватися, шліфуватися, не мати нахилу до утворення тріщин при паянні, заточуванні та загартуванні.

Інструменти, які розроблені та які застосовуються в даний час, можна поділити на інструментальні сталі, тверді сплави, мінерало-керамічні та абразивні матеріали, алмаз і синтетичні надтверді матеріали.

1.1. *Інструментальні сталі*

Інструментальні сталі поділяються на вуглецеві, леговані та швидкорізальні. Вуглецеві сталі розроблені в середині XIX століття та понад 50 років були єдиним матеріалом для виготовлення різальних інструментів. Вміст вуглецю в них становить 0,6... 1,4%. Для отримання високої твердості вуглецеві сталі загартовують (нагрівають до температури 750...820° С і швидко охолоджують у воді) та відпускають при температурі 120...150° С, для знімання внутрішніх напруг і підвищення міцності та в'язкості. В результаті обробки твердість становить 61...63 HRC, що дозволяє обробляти матеріали твердістю до



30 HRC. Допустима швидкість різання становить 15... 18 м/хв. Недоліком вуглецевих сталей є їх низька теплостійкість (200...250° C); при більш високих температурах, в результаті структурних перетворень, твердість зменшується і інструмент втрачає свої різальні властивості. Випускається дві групи вуглецевих сталей: якісні (наприклад У7...У13); високоякісні сталі (наприклад У7А...У13А). Цифра означає вміст вуглецю у десятих долях відсотку (0,7... 1,3%); А – знижений вміст шкідливих домішок сірки та фосфору. З цих сталей виготовляють зубила, стамески, пили, викрутки, керни, ножиці, пробійники, матриці, деревооброблювальні ручні інструменти тощо.

Леговані сталі – це вуглецеві сталі, леговані хромом (Х), вольфрамом (В), марганцем (Г), кремнієм (С), ванадієм (Ф) тощо. З'явилися ці сталі в кінці XIX століття. Хром у сталі забезпечує глибоку прокалюваність, підвищує твердість; вольфрам підвищує теплостійкість і зносостійкість; ванадій створює тверді та стійкі карбіди і сприяє утворенню дрібнозернистої структури.

Після термічної обробки твердість легованих сталей становить 62...65 HRC, теплостійкість 250...350° C. Допустима швидкість різання 18...25 м/хв. В позначення легованих сталей входять легуючі елементи, наприклад 9ХВГ (вуглецю 0,9%, хрому, вольфраму та марганцю по 1%), ХВГ (вуглецю 1%, хрому, вольфраму та марганцю по 1%), ХВГ (вуглецю 1%, хрому та марганцю по 1%), 6ХС (вуглецю 0,6%, хрому та кремнію по 1%), 9ХС (вуглецю 0,9%, хрому та кремнію по 1%).

З цих сталей виготовляють мітчики, плашки, протяжки, розвертки, фасонні різці та інші інструменти, які працюють при невисоких швидкостях різання. Деякі з цих сталей (9ХС, ХВГ) незначно деформуються при загартуванні. З легованих сталей виготовляють інструменти складної форми та великої довжини. Недоліком цих сталей є їх недостатня універсальність (неможливість працювати з високими швидкостями різання, обробляти високолеговані сталі та сплави).

Швидкорізальні сталі з'явилися на початку XX століття. Основним легуючим елементом є вольфрам (6... 18%). Крім вольфраму до складу цих сталей входять ванадій, хром, кобальт, молібден, але в менших кількостях, ніж леговані сталі. Введення їх в



сталь, приводить до утворення складних карбідів, які зв'язують майже весь вуглець, в результаті ця сталь набуває високу твердість 62...65 HRC, теплостійкість 650° С. В позначення швидкорізальних сталей входить буква Р («рапід» – швидкий). Наступна цифра за нею вказує середній вміст вольфраму в відсотках. Сталі, які включають кобальт, молібден, ванадій мають в маркуванні відповідно букви К, М, Ф і цифри, які вказують на середню кількість у відсотках. Вміст хрому (близько 4%) і вуглецю (0,7...1,5%) в них не вказуються.

В залежності від того, якого легуючого елемента більше, сталі поділяються на вольфрамові, ванадієві, кобальтові, вольфрамо-молібденові.

Типовими вольфрамовими швидкорізальними сталями є Р18, Р12 (18 і 12% вольфраму, 4% хрому, 1,5% вуглецю).

Ванадієві швидкорізальні сталі мають збільшений вміст ванадію по зрівнянню з Р18. Додавання ванадію підвищує зносостійкість різальних інструментів за рахунок твердих його карбідів. У сталі Р9 вміст вольфраму знижено до 9%, а вміст ванадію підвищено до 2,5%. Крім Р9 до ванадієвих сталей відносять Р9Ф5, Р14Ф4, відповідно вони мають 5 і 4% ванадію. Недоліком ванадієвих сталей є низька їх спроможність до шліфування.

Кобальтові швидкорізальні сталі. Додавка кобальта дозволяє підвищити теплостійкість і зносостійкість, що в свою чергу дає можливість обробляти нержавіючі та жароміцні сталі. Наприклад, Р18К5, Р18К10, Р9К5 (18 і 9% вольфраму, 5, 10 і 5% кобальту відповідно). При обробці твердих сталей стійкість інструменту з цих сталей в 4...4,5 рази вище ніж у інструментів із сталі Р18. Але ці сталі дорогі і не можуть працювати з ударними навантаженнями.

Вольфрамомолібденові сталі. Кількість вольфраму частково замінена молібденом. Наприклад, Р6М5, Р9М4 (6 і 9% вольфраму, 5 і 4% молібдену). Перевагою вольфрамомолібденових сталей є більш рівномірне розподілення карбідів, що підвищує їх міцність та в'язкість. Ці сталі можна значно покращити легуючи їх іншими легуючими елементами. Наприклад, 11РЗМЗФ2 (1,1% вуглецю, 3% вольфраму, 3% молібдену, 2% ванадію). З цих сталей виготовляють різці, фрези, свердла, зенкери, розвертки, зуборізні інструменти.



1.2. Тверді сплави

Тверді сплави з'явилися в кінці 20-х років XX століття. Їх виготовляють методами порошкової металургії. Вихідним матеріалом для твердих сплавів є суміш зерен карбідів, нітридів, карбонітридів тугоплавких металів у зв'язуючих матеріалах. Стандартні марки твердих сплавів виконані на основі карбідів вольфраму, титану, танталу тощо. В'язучим засобом є кобальт (К). Тверді сплави використовують у вигляді пластинок заданої форми та розмірів. Пластинки попередньо пресують, а потім спікають при температурі 1500...2000° С.

При спіканні тверді сплави отримують високу твердість (76...88 HRC) і теплостійкість (800...1000° С). Ці сплави мають високу зносостійкість, що дозволяє вести обробку при високих швидкостях до 800 м/хв. Тверді сплави стійкі до дії кислих і лужних охолоджуючих рідин.

Тверді сплави поділяють на три групи: вольфрамові (однокарбідні), вміщують карбіди вольфраму (BK2, BK3, BK4, BK6, BK8 тощо); титано-вольфрамові (двохкарбідні), вміщують карбіди вольфраму і карбіди титану (Т5К10, Т14К8, Т15К тощо); титанотанталовольфрамові (трихкарбідні), які вміщують карбіди титану, танталу, вольфраму (ТТ7К12, ТТ7К15, ТТ8К6). В позначеннях сплавів вольфрамо-кобальтової групи цифра вказує вміст кобальта в відсотках. Наприклад, BK4 містить 4% кобальта, інше – карбіди вольфраму. Титано-вольфрамова група, Т5К10 (5% карбіду титану, 10% кобальту, 85% карбіду вольфраму). В титанотанталовольфрамовій групі цифра після букв ТТ вказує сумарний вміст карбідів титану та танталу, після букви К – вміст кобальту. Наприклад, ТТ7К12 (7% карбідів титану та танталу, 12% кобальту, 81% карбіди вольфраму).

Основним недоліком твердих сплавів є їх крихкість і невелика міцність на згин і розтягування.

Пластинки припаюють до державок чи корпусів інструментів мідними, латунними припоями чи закріплюють механічним способом. Тверді сплави типу BK використовують для обробки деталей із крихких металів, пластмас неметалічних матеріалів, тип ТВК – для обробки пластичних і в'язких металів і сплавів.



1.3. Мінералокерамічні матеріали

Мінералокерамічні інструменти та матеріали з'явилися на початку 50-х років, їх основою є корунд, мінерал кристалічної будови оксиду алюмінію (технічний глинозем) Al_2O_3 . Отримують корунд із глинозему в електричних печах при температурі 1720...1750° С, тому його і називають електрокорунд. Із кристалів електрокорунду виготовляють стандартні керамічні пластинки білого кольору.

Оксидна кераміка має високу твердість 86...80 HRC, теплостійкість до 1200° С. Недоліком оксидної кераміки є висока крихкість, низька ударна в'язкість. Інструменти із оксидної кераміки використовують при чистовій і напівчистовій обточці високомісних чавунів і сталей з швидкістю до 600 м/хв в умовах безударного навантаження. Найбільше розповсюдження отримали мінералокераміка ЦМ-332, ВО-13.

З метою підвищення механічної міцності в оксидну кераміку добавляють різні тугоплавкі з'єднання (карбіди вольфраму, титану, молібдену, хрому). Такі матеріали отримали назву оксидно-карбідної кераміки. Пластини з мінералокераміки кріпляться до державок різців чи корпусів інструментів механічним способом або пайкою. Перед паянням проводиться металізація пластинок.

1.4. Абразивні матеріали

Абразивні матеріали – дрібнозернисті або порошкоподібні речовини, які використовують при виготовленні абразивних інструментів (шліфувальних кругів, брусків, шкурок, паст тощо). Твердість абразивних матеріалів визначають за десятибальною шкалою, яка прийнята в мінералогії, де одиницею твердості є тальк. Відповідно до цього твердість гіпсу – 2, вапняного шпату – 3, кварцу – 7, корунду – 9, алмазу – 10.

Абразивні матеріали поділяються на природні та штучні. До природних відносяться корунд, наждак, кварц. Корунд – природний мінерал, що складається в основному з закису алюмінію та має забарвлення від сірого до коричневого (в залежності від до-



мішок титану, хрому, заліза). Наждак – гірська порода. Кварц – кремнезем у кристалічній формі.

До штучних відносяться електрокорунд, карборунд, карбід бору. Електрокорунд виплавляють в електропечах з бокситів чи чистого глинозему. Карборунд – карбід кремнію. Карбід бору – один із найтвердіших штучних абразивних матеріалів. Інструменти з абразивних матеріалів дозволяють обробляти деталі із швидкістю різання 15...100 м/с і використовують головним чином для виготовлення інструментів для обробки деталей, коли від них вимагається висока точність і шорсткість поверхні, яка обробляється.

1.5. Алмаз і синтетичні надтверді матеріали

В промисловості використовують природні (А) та синтетичні алмази марок АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС тощо. Алмази мають високу теплостійкість і зносостійкість. По хімічному складу вони є одним із алотропних модифікацій вуглецю (кристалічний вуглець). Недоліком алмазів є їх крихкість. Використовуються вони для виготовлення різальних частин різців, свердел тощо. Маса кристалів, яка йде на оснастку різального інструменту складає 0,2...0,8 карат (1 карат = 0,2 г). Алмазні різці використовуються для тонкого точіння сплавів алюмінію, бронз, латуні, для обробки твердих матеріалів, таких як германій, кремній, кераміка. Обробку ведуть із швидкістю різання більшою 100 м/хв. Поверхні деталей мають низьку шорсткість і високу точність розмірів.

Синтетичні надтверді матеріали. В останні роки широко став застосовуватися синтетичний надтвердий матеріал на основі нітриду бора (КНБ). КНБ синтезований при температурі 1360...2000° С і тиску 6000...8000 мПа. Він має високу твердість, поступаючись лише синтетичному алмазу. Його теплостійкість становить 1600° С і використовується він в якості абразивного інструменту при обробці різних високоміцних і жароміцних сталей та сплавів. На основі кубічного нітриду бору отримані ряд інструментальних матеріалів, які називаються композити. Композити ділять на дві групи: матеріал з масою долей КНБ від



85% і вище та масою долей КНБ 75% з різними добавками (наприклад, Al_2O_3). До першої групи відносять ельбор Р (композит 01), бельбор (композит 02), гексаніт (композит 10) тощо. Їх виготовляють в вигляді циліндричних стовпчиків діаметром 4...6 мм, висотою 3...6 мм, які закріплюються в державках різального інструменту.

Одночасно з удосконаленням надтвердих матеріалів розробляються нові. Наприклад, силініт Р – матеріал на основі нітрида кремнія SiN Отримують силініт методом спікання в графітових пресформах у вигляді пластин різної форми. Основна перевага його – відсутність дефіцитних елементів і високі різальні властивості.





2. *Фізичні основи процесу різання металу*

- 2.1. Процес стружкоутворення при різанні металів. Види стружок. 2.2. Наклеп металу, усадка стружки та наріст. 2.3. Теплота різання.

Метал, який зрізається з заготовки різальним інструментом, називається стружкою. Процес різання є складним фізичним процесом, при якому мають місце пружні та пластичні деформації, він супроводжується сильним тертям, тепловиділенням, утворенням наросту, закрученням і усадкою стружки.

2.1. *Процес стружкоутворення при різанні металів. Види стружок*

Будь-який різальний інструмент працює як клин (рис. 1). Під дією сили P , різець вдавлюється у матеріал і в момент коли навантаження, що виникло, перевищує міцність металу, який обробляється, по площині AA , яка утворює з поверхнею кут β , сколюється елемент стружки, потім ще та ще. З таких окремих елементів і утворюється стружка. Отже цей процес можна уявити як процес безперервного зсуву окремих елементів стружки.

Процес утворення стружки починається з пружної фази до т. А (рис. 2). На цій прямій після припинення дії сили, форма та розміри тіла відновлюються. Після т. А до т. С настає процес текучості металу, який закінчується початком пластичної деформації.

Пластична деформація на відрізку CM характеризується невідновленням форми та розмірів тіла після припинення дії сили. Процес пластичної деформації закінчується відривом елементу металу (т. М).

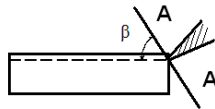


Рис. 1. Утворення стружки

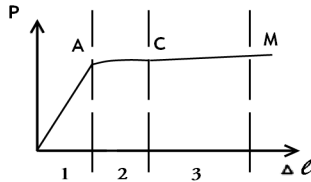


Рис. 2. Графік процесу утворення стружки:

1 – зона пружної деформації; 2 – зона текучості; 3 – зона пластичної деформації

Види стружок

В залежності від матеріалу, який обробляється, умов різання та геометричних параметрів різця, характер стружки змінюється. Розрізняють три типи стружок: зливну, сколювання та надлому.

Зливна стружка характеризується безперервною стрічкою яка, як правило, звивається у спіраль. Утворюється вона під час обробки пластичних металів (м'якої сталі, латуні, алюмінію із середніми швидкостями різання, невеликими подачами різця та оптимальними передніми кутами.

Стружка сколювання складається з окремих елементів, які зв'язані один з одним. Утворюється вона при обробці пластичних металів з порівняно невисокими швидкостями різання та значними подачами різця, які мають невеликі передні кути.

Стружка надлому складається з окремих погано зв'язаних між собою кусочків металу неправильної форми. Утворюється вона при обробці крихких металів (чавуну, бронзи, деяких сплавів алюмінію). Оброблена поверхня має низьку чистоту поверхні.

2.2. Наклеп металу, усадка стружки та наріст

В процесі різання пластична деформація проходить не тільки в шарі металу, який зрізується, але і в поверхневому шарі основної маси металу. Пластичною деформацією називають зміну



фізичних властивостей металу: зростання твердості, зменшення ударної в'язкості, збільшення межі текучості G_m і збільшення тимчасового опору. Зона зміцнення зображена на рис. 3.

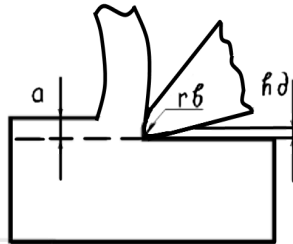


Рис. 3. Схема утворення поверхневого шару заготовки

На інструменті завжди утворюється радіус кривизни вершини леза r_b . Тому в стружку переходить тільки частина металу, який деформується. Друга частина утворює оброблену поверхню. Після проходження різця відбувається відновлення поверхневого шару, який деформується на величину h_d . Сукупність змін, які проходять в металі за рахунок пружно-пластичної деформації називають наклепом (або зміцненням). Найбільше зміцнюється метал стружки (твердість стружки може бути вища твердості матеріалу, який обробляється в 1,5...4 рази). Глибина зміцненого шару зменшується при збільшенні швидкості різання та зростає із збільшенням кута різання δ . Глибина зміцненого шару змінюється від сотих долей до декількох міліметрів. Твердість обробленої поверхні вища твердості серцевини деталі приблизно в 1,5...2,5 рази. Ступінь зміцнення та глибина наклепу залежить від початкових властивостей матеріалу, який оброблюється, геометрії та загострення різального інструменту, режиму різання, використання охолоджуючої суміші. Пластичні метали більш піддаються наклепу. Збільшення подачі та глибини різання збільшує його, а збільшення швидкості різання та викорис-



тання охолоджуючої рідини, навпаки, зменшує його.

Усадка стружки

В результаті пластичної деформації матеріалу, який обробляється, в зоні різання довжина стружки L_l менша довжини шляху, який пройдений різцем по поверхні різання. Розрізняють поздовжню та поперечну усадку стружки, які розраховуються за формулами: $K_L = (L/L_l) > 1$; $K_A = (a_l/a) > 1$, де K_L – поздовжня усадка стружки, K_A – поперечна усадка стружки, a_l – товщина стружки (мм), a – товщина шару, який зрізується (мм).

Теоретично поздовжню усадку підраховують за формулою І.А. Тіме. Для цього розглянемо зміщення шару металу в процесі різання пластичних металів (рис. 4). В результаті різання відбувається зсув елементу шару ABO_1O , який деформується та займе положення $A_1B_1O_1O$. В результаті зсуву під кутом β_1 проходить усадка стружки (стружка стає товща та коротша).

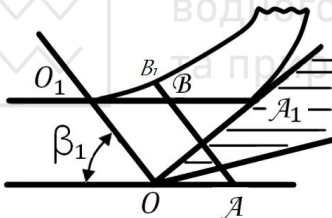


Рис. 4. Зміщення шару металу в процесі різання

Довжина стружки складається з суми окремих елементів стружки ($\sum \Delta L_l$), а довжина зрізу з суми окремих елементів ($\sum \Delta L$). Постільки число елементів ΔL і ΔL_l однакові, то усадка стружки дорівнює:

$$K_L = \Delta L / \Delta L_l = OA / OA_1. \quad (1)$$

З трикутника OAA_1 по теоремі синусів маємо: $OA_1 / \sin \beta_1 = OA / \sin [180 - (\beta_1 + \delta)]$.

Звідки:

$$K_L = OA / OA_1 = \sin(\beta_1 + \delta) / \sin \beta_1. \quad (2)$$



Усадка стружки залежить від режиму різання, геометричних параметрів різця та фізичних властивостей матеріалу, який оброблюється. При зменшенні кута різання δ , усадка стружки зменшується, що пояснюється зменшенням деформації при зрізанні стружки. Зі збільшенням швидкості різання усадка стружки спочатку зменшується до мінімального значення, при подальшому збільшенні швидкості різання – знов зменшується. Такий характер зміни кривої усадки в залежності від швидкості різання пояснюється зміною коефіцієнта тертя між передньою поверхнею різця та стружкою, яка сходить. Із збільшенням товщини зрізу, при незмінних усіх інших умов, усадка стружки зменшується. Зміна ширини зрізу майже не впливає на усадку. При обробці більш пластичних матеріалів усадка стружки зростає.

Наріст

Під наростом розуміють налипання на передню поверхню різця (біля різальної кромки) матеріалу, який обробляється. Причиною наросту є високий тиск (800... 1000 кгс/мм²), температура та наявність біля різальної кромки невеликої зони кульової швидкості. Близько до різальної кромки (рис. 5) потік матеріалу розсувається; частина йде в стружку, а частина створює заготовку, при цьому на цій кромці існує зона нульових швидкостей (застійна зона). В цій зоні частини матеріалу затримуються на передній поверхні леза, міцно з'єднуючись з нею та утворюють наріст.

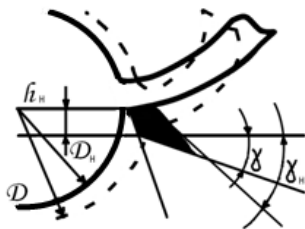


Рис. 5. Схема утворення наросту: h_n – висота наросту; γ , γ_n – передні кути без наросту та з наростом; D , D_n – відповідно діаметри деталі

За рахунок значних деформацій твердість наросту в 2...3 ра-



зи більша твердості матеріалу, який оброблюється і наріст сам починає різати метал (як новий елемент різального леза). Наріст змінює форму передньої поверхні різця, збільшуючи передній кут γ ($\gamma_n > \gamma$). Це спрощує стружкоутворення, зменшує нагрів різального леза та захищає різальну кромку інструменту від стирання стружкою, яка сходить. Періодично наріст досягає максимального значення та руйнується, після чого він може бути вдавлений в оброблену поверхню, чи відходить разом з стружкою. Нестабільність наросту веде до утворення нерівностей на оброблюваній поверхні. При чорновій обробці, коли шорсткість поверхні немає значення, наріст має позитивне значення, а при чистовій обробці – негативне значення. Частота зривів наросту залежить від швидкості різання та приводить до суттєвого збільшення шорсткості обробленої поверхні, змінює її розмір і при певних умовах викликає інтенсивні вібрації різця.

Наріст залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, який обробляється, режиму різання, геометричних параметрів інструментів, наявності охолоджуючої рідини тощо. Із збільшенням пластичності розміри наросту збільшуються, а при обробці крихких металів, наприклад чавуну, наріст може зовсім не утворюватися. При зміні швидкості різання змінюються розміри наросту. При малих швидкостях (2...5 м/хв) наріст не утворюється, а в інтервалі швидкості різання (для сталі) 10...20 м/хв – наріст найбільший. При швидкості більшій 20 м/хв наріст зменшується, це обумовлено тим, що при збільшенні температури розм'ягчається шар металу, який зрізується, що приводить до зменшення коефіцієнта тертя та він не утримується на передній поверхні. Із збільшенням подачі розміри наросту збільшуються. Тому при чистовій токарній обробці рекомендуються подачі в інтервалі 0,1...0,2 мм/об. Із збільшенням кута різання δ збільшується зона деформації матеріалу, а значить і збільшується наріст. Глибина різання на розміри наросту суттєво не впливає. Застосування охолоджуючої рідини зменшує наріст. В результаті досліджень встановлені методи боротьби з наростом при чистовій обробці: збільшення швидкості різання, збільшення переднього кута γ , застосування змащувально-охолоджуючої рідини, ретельна доводка поверхні леза для зменшення коефіцієн-



та тертя між ним і матеріалом, що обробляється.

2.3. Теплота різання

Процес різання супроводжується значним виділенням тепла, яке в значній мірі впливає на спрацювання різальних інструментів і якість обробленої поверхні, а з другого боку тепловиділення полегшує деформування шару матеріалу, який зрізується, і приводить до зміни структури та фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу (знижує його твердість). Температура в зоні головної різальної кромки досягає 800...1000° С, це приводить до збільшення розмірів інструменту, що викликає зниження точності обробки. Нагрівання заготовки, яка жорстко закріплена, приводить до зміни її розмірів і деформації, яка також впливає на точність обробки. Похибки обробки заготовки, які виникають внаслідок тепловиділення, необхідно враховувати при налагодженні верстатів, для чого необхідно знати температуру інструменту та заготовки в процесі різання. Майже вся механічна енергія, яка затрачається на деформування, руйнування та тертя, переходить в теплову і тільки невелика частина накопичується у вигляді потенціальної енергії зміщення решітки матеріалу в зоні деформування. Тому кількість теплоти, яка виділяється за одиницю часу (дж/с) можна порахувати за формулою: $Q = P_z V$, де P_z – сили різання, Н; V – швидкість різання, м/с.

Тепло, яке виділяється при різанні, складається з тепла від пластичних деформацій Q_d (теплом за рахунок пружних деформацій нехтують, так як вони мають незначні величини), тепла від тертя стружки по передній поверхні інструменту $Q_{m.n}$, тепла від тертя задніх поверхонь інструменту по заготовці $Q_{m.z}$. Рівняння теплового балансу можна записати наступним чином:

$$Q_d + Q_{m.n} + Q_{m.z} = Q_{стр} + Q_z + Q_i + Q_{сер}, \quad (3)$$

де $Q_{стр}$, Q_z , Q_i , $Q_{сер}$ – відповідно кількість тепла, що йде в стружку, заготовку, інструмент і середовище.

За даними досліджень кількість тепла, що йде в стружку становить 45...94%, переходить в інструмент 2...8%, залишається в



заготовці 3...46%, близько 1% випромінюється в навколишнє середовище. Різні значення відсотків теплоти залежать від виду операцій, фізико-механічних властивостей матеріалів заготовки та інструменту, режимів різання, геометричних параметрів різального інструменту і умов обробки. Із збільшенням швидкості різання кількість тепла, що відводиться стружкою, збільшується, а кількість тепла, що йде у виріб та інструмент, зменшується. При швидкості різання до 400 м/хв температура інструменту підвищується швидко; при подальшому підвищенні швидкості її вплив значно знижується. Зі збільшенням подачі температура в зоні різання значно підвищується, але менш інтенсивно, чим при підвищенні швидкості різання. Ще менший вплив на температуру чинить глибина різання. Це пояснюється тим, що зі збільшенням глибини різання збільшується довжина активної частини різальної кромки інструменту, що покращує умови тепловідводу. Зі зменшенням переднього кута γ збільшується сила різання, а відповідно і температура. При збільшенні кута загострення β , тепловиділення зростає. Зі зменшенням кута в плані ϕ видовжується активна частина різальної кромки, збільшується кут при вершині ϵ і за рахунок цього покращується тепловідвід. Процес різання повинен проходити без перегрівання різального інструменту. Із збільшенням міцності та твердості матеріалу, що обробляється, зростає робота, яка витрачається на різання, відповідно збільшується кількість тепла, що виділяється, і підвищується температура інструменту. Температура, що допускається для інструменту з вуглецевої сталі не повинна перевищувати 200...250° С, з швидкорізальної сталі – 550...600° С, для інструментів з твердих сплавів – 800...1000° С, інструментів, які оснащені металокерамікою – 1000...1200° С. Застосування мастильно-охолоджуючих рідин сприяє кращому відведенню тепла.



3. Основні методи обробки металів різанням

3.1. Заготовки та припуск на механічну обробку. 3.2. Рухи в металорізальних верстатах. 3.3. Основні методи обробки металів різанням. 3.4. Методи формоутворення поверхонь деталей машин.

Під час обробки металів різання від заготовки різальним інструментом відокремлюють шар металу щоб виготовити деталь потрібної форми, заданих розмірів і чистоти поверхні. Приблизно 30...50% трудоемкості виготовлення машин іде на верстатні роботи.

3.1. Заготовки та припуск на механічну обробку

Чим ближчі заготовки по формі та розмірах до готових деталей, тим менші затрати на їх виготовлення, особливо в серійному і масовому виробництві. Основними видами заготовок в залежності від призначення деталей є:

1. Виливки із чорних і кольорових металів;
2. Ковані, пресовані та штамповані заготовки;
3. Заготовки із сортового прокату;
4. Заготовки із неметалевих матеріалів (пластичних мас, деревини, резини, асбесту, тестоліту, полімерних смол тощо).

Виливки із чорних і кольорових металів можна отримати:

а) литтям в піщано-глиняну форму. Цим видом лиття отримують деталі різної конфігурації із різних металів чи сплавів. Ручне формування застосовується для індивідуального чи малосереднього виробництва та при виливанні великих і масивних деталей. Машинне формування застосовується при серійному та масовому виробництві,

б) лиття в металеву форму (кокіль). Цим видом лиття отримують вироби з хорошими механічними властивостями та точними розмірами (в межах 0,3...0,6 мм). Це лиття застосовують при великих партіях деталей, вагою до 10...12 кг і які не мають складної будови та тонких стінок;

в) лиття під тиском. Цим видом лиття отримують деталі



складної та дуже складної конфігурації, з отворами, різьбою тощо. Точність розмірів досягає 0,1...0,01 мм. При цьому способі досягається економія металу за рахунок відсутності припусків на механічну обробку та збільшується швидкість виготовлення виливок (до 7000 в зміну). Цей вид лиття застосовують в масовому та виробництві деталей невеликих розмірів, головним чином із кольорових металів і сплавів вагою до 2,5 кг при роботі на поршневих машинах і 7...8 кг на компресорних машинах;

г) відцентрове лиття. Цей вид лиття значно знижує витрати метану, і відповідно, знижується вартість виробництва, так як відсутнє формування. Виливки отримують щільні, чисті, дрібнокристалічні з кращими механічними властивостями.

Існують також інші види лиття, які мають свої переваги та недоліки.

Ковані, пресовані та штамповані заготовки отримують обробкою тиском нагрітого чи холодного металу і надання йому форми близької до спрощеної форми деталі. Штампування – це процес кування нагрітих заготовок в штампах, в результаті чого отримують розміри, які є близькими до розмірів деталі, при цьому зменшуються припуски на механічну обробку, і відповідно, витрати матеріалу. Процес штампування протікає значно швидше процесу кування і досягнення точних розмірів в деяких випадках дозволяє обходитися без подальшої механічної обробки.

Заготовки із сортового прокату застосовуються тоді, коли конфігурація деталі близько підходить до якого набудь виду даного прокату (круг, кутник, швелер, квадрат, труба тощо) і коли для отримання кінцевої форми деталі є можливість не знімати великої кількості металу та цим скоротити час механічної обробки. Точність прокатного матеріалу залежить від виду прокатування (гарячекатаний, калібрувальний, холоднотягнутий та інший прокат).

При виборі способу отримання заготовок, як правило, зрівнюють декілька варіантів виготовлення та вибирають той, який забезпечує найменшу собівартість.



Припуск на механічну обробку

Шар металу, який необхідно зняти з заготовки під час обробки для отримання готової деталі, називається припуском на механічну обробку. Припуски поділяють на загальні, які знімаються в процесі всієї обробки деталі, та міжопераційні, які знімаються при виконанні окремих операцій. Величина міжопераційного припуску Z_m визначається, як різниця отримана на попередній "а" та наступній "б" операціях (рис. 6).

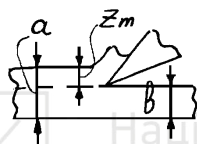


Рис. 6. Припуск на механічну обробку

$$Z_m = a - б. \quad (1)$$

Загальний припуск на обробку рівний сумі міжопераційних припусків по всіх технологічних операціях від заготовки деталі до її розмірів на кресленні.

$$Z_0 = \sum Z_m. \quad (2)$$

Від правильного вибору припуску значною мірою залежить раціональність витрат металу та економічність обробки. Міжопераційні припуски в залежності від виду обробки, матеріалу та виду заготовки різні. Так, при обробці сортового прокату необхідно зняти тільки верхній шар (елементи процесу окислення, іржі тощо). При охолодженні виливок, поковок на їх поверхні залишається тверда кірка, яка включає в себе пори, раковини, домішки тощо. Тому припуск для цих видів заготовок буде значно більшим. Як правило, глибина різання приймається рівною припуску на механічну обробку. Але не завжди можливо зняти припуск за один прохід. Тоді назначається декілька проходів, таким чином, щоб на останній прохід залишилась найменша глибина, для покращення чистоти обробленої поверхні (сталь



0,2...0,4 мм, чавун до 1 мм).

Товщина кірок, які необхідно зняти з заготовок, наступна:

Для поковок при обробці вуглецевих сталей	до 1,5 мм,
Для поковок при обробці легованих сталей	до 2...4 мм,
Для штамповок при обробці вуглецевих сталей	до 1 мм,
Для штамповок при обробці легованих сталей	до 0,5 мм,
Для виливок із сірого чавуна	1 ...4 мм,
Для виливок із сталі	2...5 мм

Для сортового прокату припуски на механічну обробку назначають індивідуально.

3.2. Рухи в металорізальних верстатах

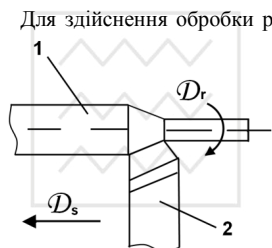


Рис. 7. Точіння:
1 – різець, 2 – заготовка

Для здійснення обробки різанням заготовка та різальний інструмент повинні виконати одне відносно одної певні рухи, які поділяються на основні (робочі) і допоміжні. Основні рухи потрібні для знімання стружки, а допоміжні – для підготовки до цього процесу. Прикладом допоміжного руху може бути підведення інструменту до заготовки перед початком обробки.

Основні, або робочі рухи поділяються на головний рух (D_r) і рух подачі (D_s), наприклад, при точінні головний рух виконує заготовка, а рух подачі – різець (рис. 7). За допомогою головного руху здійснюється зрізання стружки (при точінні це обертання заготовки, при фрезеруванні – обертання фрези, при свердлінні – обертання свердла тощо), а рух подачі дає змогу розпочати процес різання поширити на необроблені ділянки поверхні заготовки (при точінні це переміщення різця, при фрезуванні – переміщення заготовки, при свердлінні – переміщення свердла або заготовки).

Головний рух у металорізальних верстатах може бути двох видів: обертовий та зворотно-поступальний. Головний рух мо-



жна надати заготовці (на верстатах токарної групи), або різальному інструменту на верстатах свердлильної та фрезерної груп). У верстатах з головним обертовим рухом, рух подачі безперервний. У верстатах із зворотно-поступальним головним рухом (верстати стругальної групи) робочий хід чергується з холостим, рух подачі здійснюється перед початком кожного робочого ходу, отже і процес різання переривчастий.

3.3. Основні методи обробки металів різанням

До основних методів обробки металів різанням відносяться: точіння, свердління, фрезування, стругання, протягування та шліфування. Одним із найбільш поширених методів обробки різанням є точіння (рис. 7); для цього методу головним рухом (D_r) є обертання заготовки 2 навколо своєї осі, а рухом подачі (D_s) – поступальне переміщення інструменту відносно заготовки. Рух подачі може бути поперечний або поздовжній. Точіння використовується для обробки поверхонь на токарній групі верстатів. Точінням можна обробляти циліндричні, конічні, фасонні зовнішні та внутрішні поверхні, торцеві поверхні, а також нарізати різьбу.

Другим методом обробки металів різанням є свердління (рис. 8). Головним рухом (D_r) при свердлінні є обертання інструменту (свердла) навколо своєї осі, і рух подачі (D_s) виконує також свердло вздовж своєї осі.

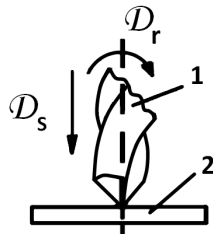


Рис. 8. Свердління: 1 – свердло, 2 – заготовка



При свердлінні довгих отворів рух подачі доцільно надавати заготовці, для запобігання відхилення свердла від центра обертання. Свердління використовують для утворення отворів (до 80 мм) в суцільному матеріалі, збільшення уже існуючих отворів – цей процес називається розсвердлювання. Обробку можна виконувати на свердлильних, розточувальних, токарних і фрезерних верстатах. До метода свердління відносяться зенкерування, зенкування та розвірчування. Ці операції використовуються, як правило, після свердління і служать для надання точності отвору та підвищеної чистоти поверхні.

Третім методом обробки металів різанням є фрезерування (рис. 14).

При фрезеруванні головним рухом (D_r) є обертання інструменту (фрези) навколо своєї осі, а рух подачі (D_s) надається заготовці або фрезі. Користуючись різними видами фрез і фрезерними верстатами, можна обробити різноманітні поверхні, площини, уступи, пази тощо.

Четвертим методом обробки металів різанням є стругання (рис. 9). При струганні головний рух (зворотно-поступальне переміщення D_r) виконує різець в поперечно-стругальних верстатах або заготовка в поздовжньо-стругальних верстатах. Рухом подачі (D_s) є періодичне переміщення заготовки (в поперечно-стругального верстату), або періодичне переміщення різця (в поздовжньо-стругальному верстаті), а також, періодичне переміщення різця (в поздовжньо-стругальному верстаті).

До методу стругання відноситься і довбання, де головний зворотно-поступальний рух (D_r) в вертикальній площині виконує довбач, а рух подачі (D_s), як правило круговий, виконує заготовка. Найчастіше стругання використовують для обробки площин, а довбання для виготовлення зубчатих коліс, шліців, шпонкових канавок.

П'ятим методом обробки металів різанням є шліфування (рис. 10).

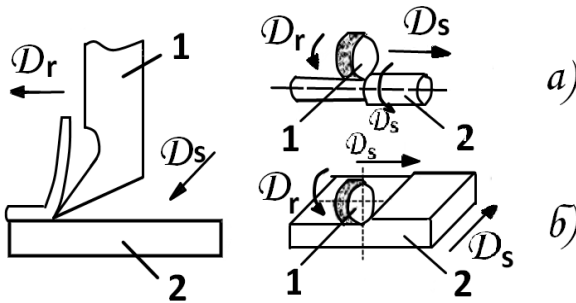


Рис. 9. Стругання:

1 – стругальний різець;
2 – заготовка

Рис. 10. Шліфування:

а) зовнішнє кругле; б) плоске;
1 – шліфувальний круг; 2 – заготовка

При шліфуванні головний рух (D_r) виконує шліфувальний круг, а рух подачі складається із декількох рухів, тобто він комбінований. Наприклад, при круглому зовнішньому шліфуванні рух подачі – це обертання заготовки 2, поздовжнє переміщення її відносно шліфованого круга та періодичне поперечне переміщення шліфувального круга відносно заготовки. Шліфування найчастіше використовується для остаточної обробки поверхонь деталей. Найбільш поширені такі види шліфування: кругле внутрішнє – для обробки отворів, плоске – для обробки площин і безцентрове – для обробки довгих валів. Відповідно для різних видів шліфування існують наступні подачі (D_r) поздовжні, поперечні, вертикальні, колові, окружні тощо.

Шостим методом обробки металів є протягування (рис. 11). Протягування здійснюється спеціальним різальним інструментом, що називається протяжкою. Головний рух (D_r) в поздовжньому напрямку виконує протяжка, що має на робочій частині зуби, висота яких збільшується вздовж протяжки. Різниця між висотами попереднього та наступного зубами є подачею (D_s) і становить соті або десяті значення міліметра в залежності від ви-



ду та призначення протяжки.

Протягування є найбільш продуктивним методом обробки металів різанням, але обмеженість його використання ґрунтується на високій вартості протяжки та складності процесу різання.

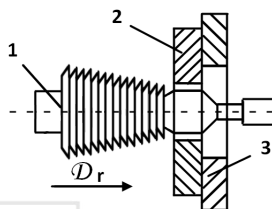


Рис. 11. Протягування: 1 – протяжка; 2 – заготовка; 3 – упор

3.4. Методи формоутворення поверхонь деталей машин

Геометрична поверхня деталей машин є сукупність послідовних положень однієї лінії (твірної), яка переміщається по другій лінії і яка називається направляюча. Наприклад, для утворення колової циліндричної поверхні пряму лінію (твірну) переміщують по колу (направляючій). При обробці поверхонь на металорізальних верстатах твірні та направляючі лінії відтворюються комбінацією рухів заготовки і інструменту, швидкості яких узгодженні між собою. Механічна обробка реалізує чотири методи формоутворення поверхонь.

Першим методом формоутворення поверхонь деталей машин є утворення поверхні по методу копіювання. Цей метод ґрунтується на тому, що різальна частина інструменту відповідає формі поверхні заготовки, яка обробляється (рис. 12). Направляюча лінія 4 відтворюється обертанням заготовки. Рух подачі необхідний щоб отримати геометричну поверхню заданого розміру.

Метод копіювання широко застосовується при обробці фасонних поверхонь.

Другим методом формоутворення поверхонь деталей машин



є утворення поверхні по методу слідів. Цей метод ґрунтується на тому, що різальна кромка інструменту залишає слід на поверхні, яка обробляється (рис. 13), за рахунок узгодження руху обертання заготовки (D_r) і руху подачі (D_s) різця. Утворююча лінія 3 є траєкторією руху точки (вершини) різальної частини інструменту, а направляюча лінія 4 – траєкторією руху точки заготовки.

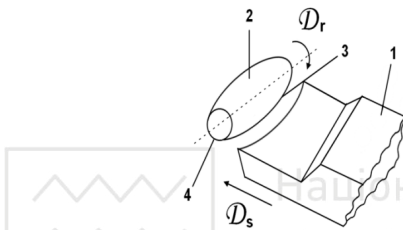


Рис. 12. Метод копіювання: 1 – різець; 2 – заготовка;
3 – утворююча лінія; 4 – направляюча лінія

Третім методом формоутворення поверхонь деталей машин є утворення поверхні по методу дотику. Цей метод ґрунтується на тому, що різальна кромка інструменту знаходиться в контакті з заготовкою певний проміжок часу, а більшість часу проходить по повітрі, тим самим охолоджується (рис. 14), відповідно і стійкість інструментів, які працюють по цьому методу, значно більша за інші. Утворюючою лінією 3 служить різальна частина інструменту, а направляючою лінією 4 поверхня дотична до ряду геометричних допоміжних ліній траєкторія точок різальної частини інструменту. В цьому випадку формоутворюючим є тільки рух подачі.

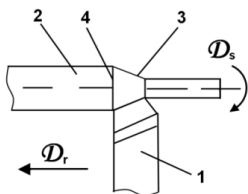


Рис. 13. Метод слідів:
1 – різець; 2 – заготовка;
3 – утворююча лінія;
4 – направляюча лінія

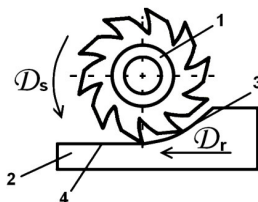


Рис. 14. Метод дотику:
1 – фреза; 2 – заготовка;
3 – утворююча лінія;
4 – направляюча лінія

Четвертим методом формування поверхонь деталей машин є утворення поверхні по методу обкатки (огинання). Цей метод ґрунтується на тому, що різальний інструмент обкатує (огинає) заготовку (рис. 15), за рахунок узгодження руху обертанням різального інструменту (наприклад фрези) D_r і руху подачі заготовки (D_s). Направляюча лінія 3 відтворюється обертанням заготовки 2. Утворююча лінія 4 отримується як огинаюча крива до ряду послідовних поверхонь різальної частини інструменту відносно заготовки.

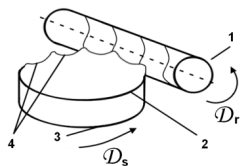


Рис. 15. Метод обкатування (огинання): 1 – фреза; 2 – заготовка;
3 – направляюча лінія; 4 – утворююча лінія



4. Загальна компоновка металорізальних верстатів

4.1. Корпусні деталі. 4.2. Шпиндельні вузли. 4.3. Передаточні механізми. 4.4. Механізми періодичного руху. 4.5. Кінематичні схеми. 4.6. Класифікація та маркування металорізальних верстатів.

4.1. Корпусні деталі

До корпусних деталей відносять станини, супорти, столи, планшайби, консолі, салазки, повзуни, головки тощо. Все це є елементи несучої системи, через які проходять взаємозв'язок сил різання між інструментом і заготовкою. Доля корпусних деталей від загальної маси верстату становить 80–85%. Основна частина корпусних деталей виготовляється у вигляді виливок із сірого чавуна, також станини можуть бути виготовлені і із листової сталі СтЗ, Ст4. Станини виготовляють коробчатого типу для забезпечення оптимальної маси, жорсткості та вібростійкості. При виготовленні станин обов'язковим є наявність такого елемента як ребро жорсткості. В окремих випадках для підвищення вібростійкості внутрішні замкнуті порожнини станин залишають після лиття заповненими стержневою сумішшю.

Столи, планшайби та супорти несуть на собі заготовки або інструменти і виконують робочі рухи. Траєкторія цих рухів і пояснює форму корпусних деталей, які рухаються. В свердлильних, розточних, шліфувальних, фрезерних і стругальних верстатах столи виконують прямолінійне переміщення та мають прямокутну форму. В карусельних, зубофрезерних, деяких плоскошліфувальних верстатах планшайби (столи) виконують обертовий рух і мають форму диска (рис. 16).

На поверхні столів, планшайб виконують спеціальні Т-подібні пази для встановлення та закріплення заготовок і пристроїв спеціальними болтами.

Важливими елементами станини є основні базові поверхні верстату – направляючі та площини прилягання. По направляючих переміщаються рухомі вузли верстату, а на площинах при-



лягання жорстко кріпляться нерухомі вузли, механізми та деталі. Параметри направляючих і площин прилягання характеризують точність верстату.

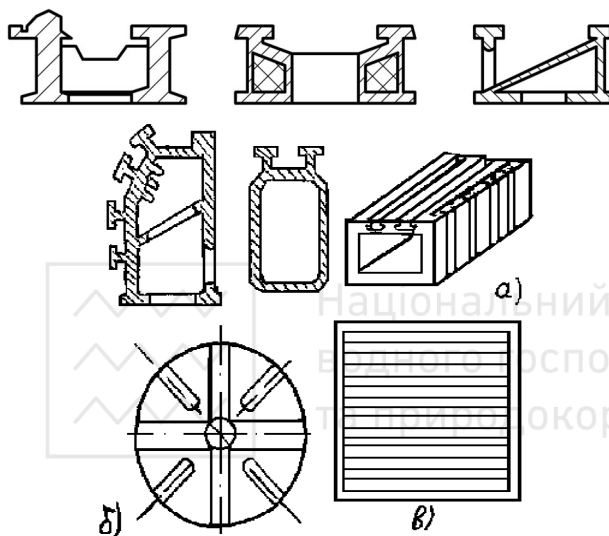


Рис. 16. Види корпусних деталей:
а – станини, б – планшайби, в – столи

Направляючі можуть бути виготовлені заодно з станиною із зносостійких матеріалів (сталь 20, сталь 20Х; сталь 20ХНМ) з цементуванням і загартуванням. Направляючі можуть працювати ковзанням, коченням і можуть бути комбіновані. Вони можуть мати напіврідке, рідке та газоподібне змащування.

При рідкому змащуванні шар розділяє поверхні частково, при рідкому повністю (гідродинамічні направляючі), при газовому змащуванні шар формується із повітря (аеростатичні направляючі).



По формі направляючі бувають: прямокутні, трикутні, трапецієвидні та круглі (рис. 17).

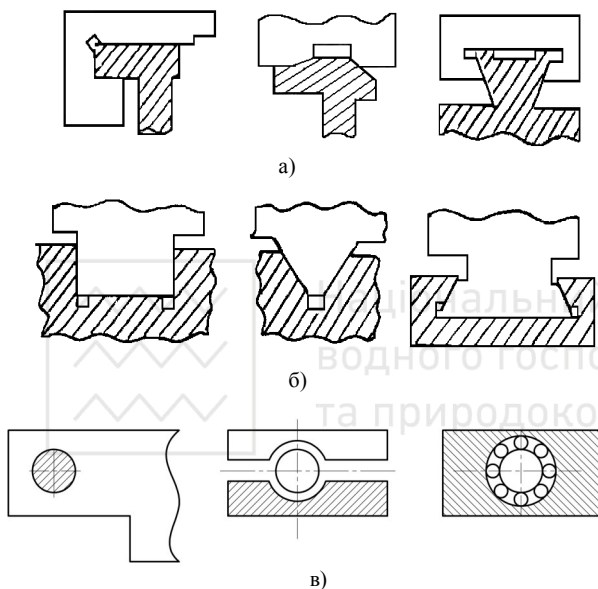


Рис. 17. Види направляючих:

а – охоплювані; б – охоплюючі; в – замкнуті

В свою чергу ці направляючі поділяють на: охоплювані, які мають технологічний випуклий профіль, погано утримують змащувальний матеріал, не накопичують стружку, та охоплюючі, які мають ввігнутий профіль, добре утримують змащувальний матеріал, але потребують значного захисту від забруднення. Охоплюючі, за рахунок кращих умов змащування, застосовуються при високих швидкостях переміщення (в карусельних, поздовжньо-стругальних і шліфувальних верстатах). По харак-



теру сприймання навантаження направляючі ділитися на відкриті та замкнуті.

4.2. Шпиндельні вузли

Шпиндельні вузли впливають на точність і продуктивність верстату. Точність характеризується радіальним і осьовим биттям (Δ) переднього кінця шпинделя (в середньому биття не повинно перевищувати $1/3$ допуску (T) на виготовлену деталь ($\Delta \leq T/3$)).

Шпиндельні вузли складаються із шпинделя, шпиндельних опор і системи подачі змащувального матеріалу.

Шпиндель, в основному – полий вал з зовнішніми посадочними місцями для установки в підшипники. На передньому кінці шпинделя виконані приєднувальні поверхні для установки та закріплення інструментів і шпиндельної оснастки (патрони, планшайби тощо) (рис. 18).

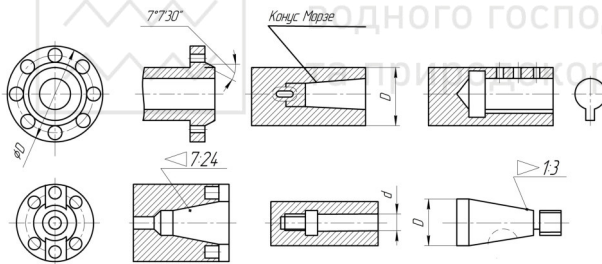


Рис. 18. Кінці шпинделів

Шпинделі виготовляють із конструкційної сталі (сталь 45, 50...) з поверхневим загартуванням; легованих сталей (сталь 50Х; 40 ХГР) з об'ємним загартуванням; сталей, які цементуються (сталь 20Х; 18 ХГТ); сталей, які азотуються (сталь 38Х2МЮА).

Обертання на шпиндель передається чи зубчатою передачею при частоті обертання $n < 2000 \text{ хв}^{-1}$, чи пасовою передачею при



$n = 6000 \text{ хв}^{-1}$. При високих частотах обертання шпиндель отримує рух від пневмотурбін ($n < 90000 \text{ хв}^{-1}$) чи високочастотного асинхронного двигуна ($n \approx 150000 \text{ хв}^{-1}$).

Опорами шпиндельних вузлів є підшипники кочення або підшипники ковзання (рис. 19).

Підшипники кочення можуть бути шарикові, роликові або голчасті. В свою чергу вони поділяються на упорні, радіальні та радіально-упорні. Широке застосування отримали двоохрядні підшипники, як роликові так і шарикові.

Для захисту підшипників від пилу, бруду та охолоджуючої рідини використовують спеціальні шпиндельні ущільнювачі, які запобігають також витіканню змащувального матеріалу. Широке застосування отримали безконтактні, лабіринтні ущільнення, які знижують виділення теплоти та практично не зношуються.

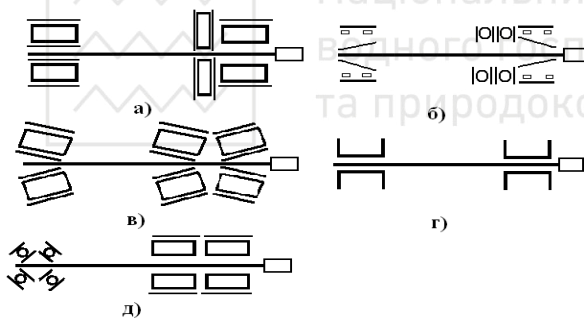


Рис. 19. Різні схеми шпиндельних опор:

а – підшипники роликові радіальні та упорні; б – підшипники роликові двоохрядні радіально-упорні та шарикові упорні; в – голчасті радіально-упорні; г – підшипники ковзання радіальні; д – підшипники шарикові радіально-упорні, роликові-радіальні

В верстатах шліфувальної групи широке застосування отримали гідравлічні підшипники, де шпинделі обертаються з високими, майже постійними кутовими швидкостями в умовах малих



навантажень (рис. 20).

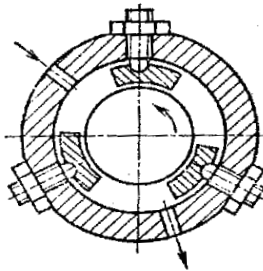


Рис. 20. Гідравлічний шпиндельний підшипник

В багатоклинових гідродинамічних підшипниках масло затягується валом (шпинделем), який обертається, в клинові зазори між шийкою шпинделя та башмаком підшипника. Таким чином, в об'ємах масла, яке знаходиться в клинових зазорах, утворюється гідродинамічний тиск, який забезпечує рідинне тертя між шийкою та башмаком підшипника. В якості робочої рідини використовують оливу "Індустріальну І-5А". Недоліком гідродинамічних підшипників є радіальне зміщення осі шпинделя при зміні частоти його обертання.

4.3. Передаточні механізми

Деталі та складальні одиниці, які взаємодіють всередині машини при передачі механічної енергії, називаються парами.

Кінематичною парою називають рухоме з'єднання двох ланок, які контактують між собою. Властивості пари залежить від форми тих поверхонь, якими ланки контактують при своєму відносному русі. Пари, в яких відсутній відносний рух між ланками, які контактують, називаються з'єднанням. Ланки можуть складатися із окремих деталей або із декількох деталей, які нерухомо з'єднані один з одним. В кінематичних парах розрізня-



ють ведучі та ведені ланки. Ланка, яка задає рух в кінематичній парі, називається ведучою, а ланка, яка отримує рух, – ведена (робоча). Ланки, які взаємодіють між собою, утворюють передаточні механізми.

Такі передаточні механізми застосовують переважно для передачі обертового руху (зубчасті, пасові, ланцюгові тощо), а також для перетворення обертового руху в поступальний чи на-впаки (рейкові, гвинтові, кулачкові тощо).

Пасові передачі в верстатах використовуються в основному для зміни частоти обертання при передачі руху від електродвигуна до коробки швидкостей. Пасова передача (рис. 21) складається із ведучого 1 і веденого 2 шківів, які з'єднані пасом. Пас може бути плоским (рис. 21, а), клиновидним (складається із набору клинових пасів) (рис. 21, б) і зубчатим (плоский пас з зубчатою внутрішньою поверхнею). Плоский пас може бути перехресним (рис. 21, в).

Плоский пас забезпечує плавну передачу руху, охороняє механізми верстату від можливих перевантажень (внаслідок проковзування паса по поверхні шківів), дозволяє з'єднувати шківів, які розміщені на значній відстані один від одного.

Клиновидні паси мають трапецеїдальну форму поперечного перерізу та розміщуються на шківів в кільцевих канавках, які мають також форму перерізу. Клинопасова передача дозволяє передавати більші потужності при меншій ширині шківів по зрівнянню з плоскопасовою.

Зубчатий пас забезпечує передачу руху між ведучим і веденим шківом без проковзування завдяки наявності на внутрішній поверхні паса поперечних зубів, які входять в зачеплення з відповідними зубами на шківів.

Вали з паралельними осями з'єднуються циліндричними передачами, з осями, які пересікаються – конічними передачами, з осями, які перехрещуються – черв'ячними, гвинтовими циліндричними та гвинтовими конічними (гепіодними) передачами.

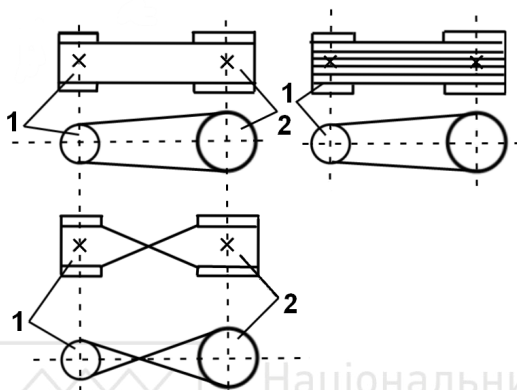


Рис. 21. Пасова передача:

а – плоска; б – клиновидна; в – плоска з перехресним пасом

Обертання від одного валу до другого передається шляхом взаємного зачеплення зубчатих коліс, зуби яких в зоні контакту мають профіль евольвенти. Зубчасті передачі для оберткових рухів показані на рис. 22. Зубчасті колеса, зуби яких розміщені паралельно осі обертання, називаються прямозубими циліндричними і можуть бути зовнішнього (рис. 22, а) та внутрішнього (рис. 22, б) зачеплення. В косозубих зубчатих коліс зуби розміщені під кутом до осі обертання, завдяки чому збільшується довжина контакту між зубами. Конічні зубчасті колеса (рис. 22, в) з'єднують вали, які розміщуються під кутом, а гвинтові (рис. 22, г) та черв'ячні (рис. 22, д) передачі – вали з осями, які перехрещуються. Конічні колеса виконуються з прямими та криволінійними зубами.

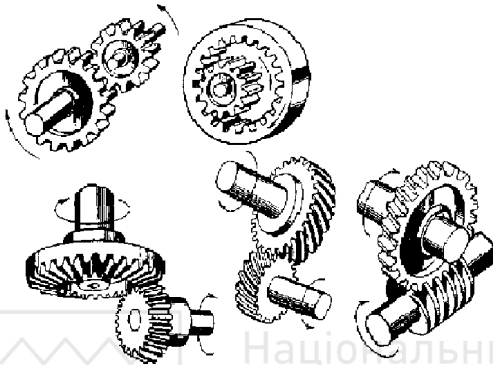


Рис. 22. Зубчаті передачі:

а – зовнішні; *б* – внутрішні; *в* – конічні; *г* – гвинтові; *д* – черв'ячні

Для перетворення обертового руху в поступальний застосовують рейкову гвинтову передачу (рис. 23). Рейкова передача (рис. 23, а) може бути виконана з прямозубим чи косозубим зачепленням циліндричного колеса з рейкою. Рейкова передача може бути виконана і з черв'яком (рис. 23, б). Гвинтові передачі (рис. 23, в) також використовуються для перетворення обертового руху в поступальний і складається з гвинта та гайки, яка може бути нероз'ємною або роз'ємною.

При одному оберті гвинта чи гайки спряжений елемент переміщається на крок різьби. В гвинтовій парі ковзання затрачується значні зусилля на переборення сил тертя, які приводять до зносу витків спряжених елементів і збільшенню зазорів. В тих випадках, коли необхідно забезпечив точність і стабільність переміщення застосовується передача гвинт-гайка кочення (рис. 24), в якій гайка з гвинтом контактує через шарики. Перекочуючись по гвинтовим канавкам гвинта та гайки, шарики вертаються по каналу вороття (чи по спеціальному вкладишу) від останнього витка гайки до першого (безперервно циркулюють).

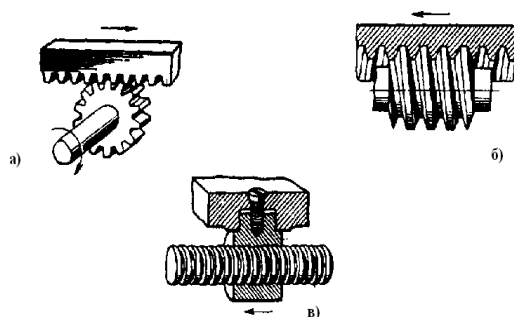


Рис. 23. Рейкова та гвинтова передача:

а) з прямозубим чи косозубим зачепленням циліндричного колеса з рейкою; б) з зачепленням черв'яка з рейкою; в) гвинтова передача з нероз'ємною та роз'ємною гайкою

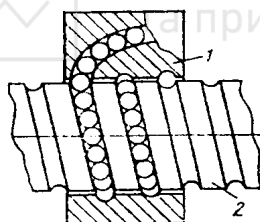


Рис. 24. Передача гвинт-гайка кочення: 1 – гайка, 2 – гвинт

Ланцюгова передача служить для зміни частоти обертання при передачі руху від ведучого валу до веденого, які розміщені на значній відстані один від одного. На відміну від пасових, ланцюгові передачі працюють при менших колових швидкостях і передають значні потужності без проковзування (рис. 25). Ланцюгова передача може бути втулконо-роlikовою або зубчастою.

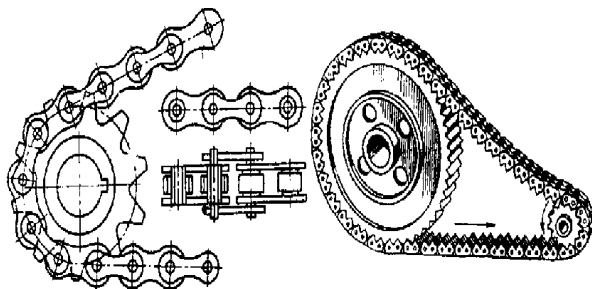


Рис. 25. Ланцюгова передача

Фрикційні передачі знайшли застосування в приводах верстатів, які забезпечують безступеневу зміну передаточного відношення між ведучим і веденими ланками.

Фрикційні варіатори (рис. 26) складаються із двох дисків (ведучого та веденого), між якими розміщений ролик, і який має можливість переміщуватися в осьовому напрямі. При цьому змінюються радіуси контактів ролика з дисками і швидкість обертання веденого (верхнього) диска при постійній швидкості обертання нижнього (ведучого) диска.

В інших конструкціях варіаторів використовується спеціальні клиноподібні паси або сталеві кільця, які з'єднують ведучі та ведені розсувні конусні шків.

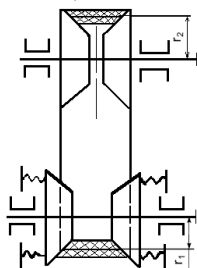


Рис. 26. Фрикційний варіатор



Осьове наближення однієї пари конусних шківів викликає осьове віддалення одне від одного другої пари, і відповідно міняються радіуси контакту r_1 і r_2 пасу з шківками та передаточні відношення.

З перерахованих вище передаточних механізмів найбільш широко в металорізальних верстатах використовуються зубчасті передачі. Використання їх в коробках швидкостей і подач для отримання різних частот обертання їх вихідних елементів – шпинделей, ходових валів тощо. Зміна частот обертання цих елементів виконується рухомими блоками зубчастих коліс (рис. 27, а), муфтами (рис. 27, б), гітарами змінних коліс (рис. 27, в), набором коліс з рухомою шпонкою (рис. 27, г).

Передачі з рухомими блоками (рис. 27, а) прості та надійні, але їх застосування значно збільшує осьові розміри коробок, не допускається переключення на ходу і використання косозубого зачеплення.

При використанні муфт (рис. 27, б) зубчасті колеса постійно знаходяться в зачепленні, а передача крутного моменту на вал проходить тільки при включенні відповідної муфти. Але постійне зачеплення всіх зубчастих коліс прискорює їх зношування та збільшує втрати потужності на тертя в таких коробках.

Гітари змінних коліс (рис. 27, в) застосовують при точному налагодженні подач. Гітари можуть бути як двохпарні так і трьохпарні. На відміну від коробок з рухомими блоками, де відстань між валами незмінна, в гітарах є приклад 1, який повертається на осі 3. В радіальному пазу прикладу закріплюються всі 2 коліс 6 і 7. Приклад в нормальному положенні фіксується дуговым пазом 5 і гвинтом 4.

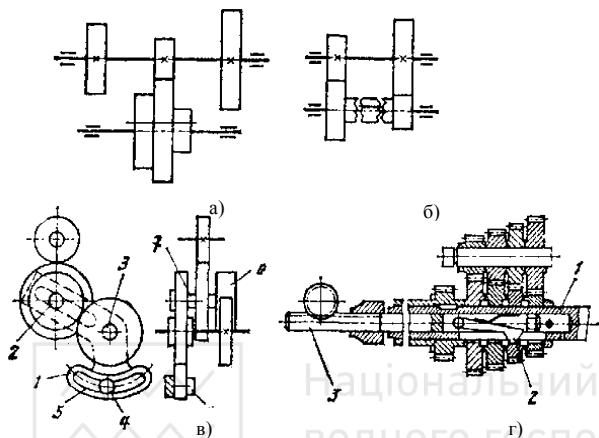


Рис. 27. Зубчаті механізми металорізальних верстатів:

а – рухомий блок; б – муфта; в – гітара змінних коліс;
г – набір коліс з рухомою шпонкою

В коробках свердлильних верстатів використовуються набори коліс з рухомою шпонкою (рис. 27, г). Набори виконані в вигляді двох зустрічних конусів, які розміщені на паралельних валах. Ведуче колесо закріплено на валу, а колеса веденого валу 1 по черзі взаємодіє з ним рухомою шпонкою 2, яка рухається зі штангою 3 вздовж пазу та центрального отвору валу 1.

Найбільш складними зубчатими механізмами металорізальних верстатів є планетарні циліндричні (рис. 28, а) і конічні (рис. 28, б) передачі. Планетарні механізми складаються з коліс І, які встановлені на рухомих осях. Ці колеса називаються сателітами. Осі 2 цих сателітів встановлені на рухомій ланці передачі – водилі 3 і обкочується навкруги центральних коліс.

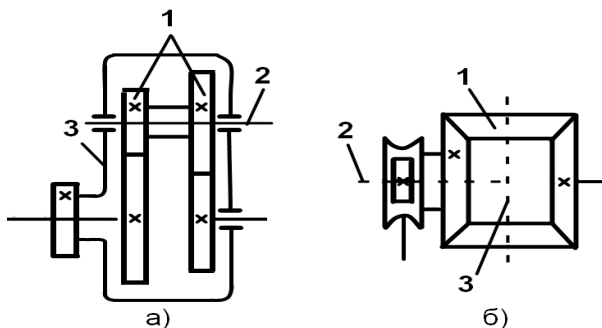


Рис. 28. Планетарні передачі:
а – циліндричні; б – конічні

4.4. Механізми періодичного руху

Механізми періодичного руху використовуються в метало-різальних верстатах для приведення в рух виконавчих органів, які виконують періодичне переміщення. Найбільш часто в якості механізмів періодичного руху використовуються кривошипо-кулісні, кулачкові, храпові та мальтійські механізми.

Прикладом використання кривошипо-кулісного механізму (рис. 29) є стругальний верстат, в якому повзун виконує зворотно-поступальний прямолінійний рух.

В кривошипо-кулісному механізмі першої схеми (рис. 29, а) обертання диска 1 приводить до переміщення в радіальному напрямку пальця 2, який зв'язаний через шатун 3 і важіль 4 з зубчастим сектором 5. Зубчастий сектор 5 виконує зворотно-поступальний рух штоселя 6 за рахунок зубчастої рейки 7, яка входить в зачеплення з сектором.

В кривошипо-кулісному механізмі другої схеми (рис. 29, б) кривошипне колесо 1 своїм пальцем 2 надає коливальний рух важеля 3, який зв'язаний з повзуном 4.

Недоліком кулісних механізмів є нерівномірність швидкості повзуна і постійність співвідношення робочого та допоміжного



ходу.

Кулачкові механізми (рис. 30) перетворюють обертальний рух в поступальний. Прикладом використання кулачкових механізмів є автомати, які використовують механізми з обертовими циліндричними та плоскими кулачками для зміни положення робочого профілю за рахунок системи важелів і зубчатих передач в поступальне переміщення виконавчих органів (супорта, головки тощо).

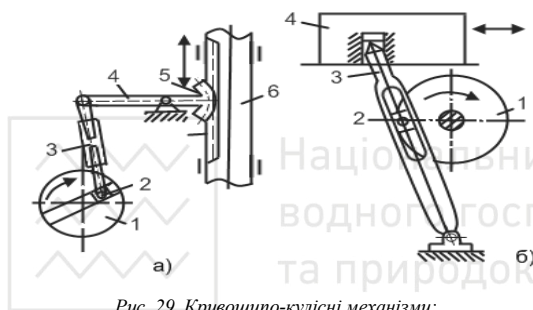


Рис. 29. Кривошипно-кулісні механізми:
а – перша схема; б – друга схема

Прикладом використання храпового механізму (рис. 31) є стругальний верстат для виконання руху подачі, і шліфувальний верстат для переміщення шліфувального круга та механізму правки.

Храповий механізм складається із важеля І з собачкою 3, храпового колеса 2, вала 4 і обмежувача 5.

При зворотно-поступальному русі шатуна 6 важіль 1 своєю собачкою 3 захоплює зуб храпового колеса 2 і повертає його на певний кут.

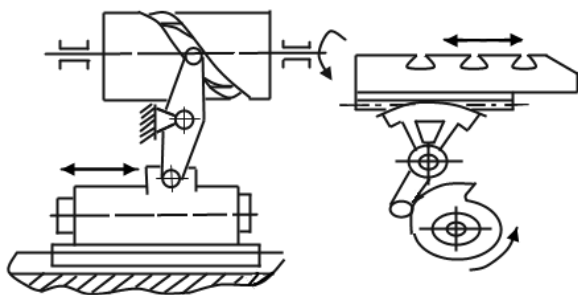


Рис. 30. Кулачкові механізми



Рис. 31. Храповий механізм

При переміщенні шатуна 6 в іншому напрямку собачка 3 проковзує по бічній поверхні наступного зуба та захоплює його. Дальше цикл повторюється.

Прикладом використання мальтійських механізмів (рис. 32) є періодичне повертання на постійний кут revolverної головки, шпиндельних блоків токарних автоматів.

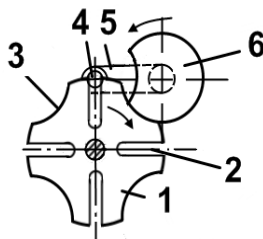


Рис. 32. Мальтійський механізм

Мальтійський механізм складається з мальтійського хреста 1, який виконаний у вигляді диска з пазами 2 і вирізами 3 для фіксації. В паз 2 заходить палець 4, який кріпиться на водилі 5. Водило зв'язано з фіксуючим сегментом 6.

За один оберт водила 5 хрест 1 повертається на певний кут. Після виходу пальця 4 із пазу 2 фіксуючий сегмент заходить у виріз 3 диска і фіксує його до того часу, поки палець 4 не зайде в наступний паз.

4.5. Кінематичні схеми

Передаточні механізми характеризуються передаточним числом (i) або швидкістю (V).

Передаточним відношенням передачі називається число, яке показує у скільки разів частота обертання ведучого елемента менша чи більша частоти обертання веденого елемента:

$$i = \frac{n_1}{n_2}, \quad (1)$$

де n_1 – частота обертання ведучого елемента; n_2 – частота обертання веденого елемента.

Основні схеми передач, що застосовуються у металорізальних верстатах, їх призначення та розрахункові залежності параметрів наведені в табл. 4.1.



Рівняння кінематичного балансу

Кінематична схема металорізального верстату – це умовне зображення передач та механізмів з метою виявлення їх взаємного зв'язку та принципів роботи. Сукупність всіх передач верстату називається кінематичним ланцюгом. Передаточне відношення кінематичного ланцюга визначається як добуток передаточних відношень всіх елементарних передач (пар):

$$i_{заг} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_n = \frac{n_k}{n_{поч}}, \quad (2)$$

де $n_{поч}$ – частота обертання початкової ланки; n_k – частота обертання кінцевої ланки.

Таким чином, знаючи частоту обертання ведучої (початкової) ланки та передаточне відношення всіх проміжних передач, можна з допомогою цієї залежності визначити розрахункові переміщення веденої (кінцевої) ланки кінематичного ланцюга. Таке рівняння називається рівнянням кінематичного балансу ланцюга.

В металорізальних верстатах кінематичним ланцюгам даються назви в залежності від виконуваних ними функцій. Відповідно, є такі кінематичні ланцюги: а) кінематичний ланцюг головного руху; б) кінематичний ланцюг руху подач; в) кінематичний ланцюг допоміжних рухів.

Умовні позначення елементів схем наведені в табл. 4.2.



Таблиця 4.1

Основні схеми передач, що застосовуються у металорізальних верстатах

Назва передачі	Схема	Призначення передач	Розрахункові формули
1	2	3	4
Зубчаста циліндрична		Передача обертання між паралельними валами; ведений вал обертається в протилежну сторону по відношенню до ведучого	$i = \frac{z_2}{z_1}$ $n_1 = n_2 \cdot i$
Зубчаста конічна		Передача обертання між перпендикулярними валами	$i = \frac{z_2}{z_1}$ $n_1 = n_2 \cdot i$
Пасова		Передача обертання між реальними валами	$i = \frac{d_2}{d_1}$ $n_1 = n_2 \cdot i \cdot \gamma$
Ланцюгова		Вал обертається в той же бік, що і ведучий	$i = \frac{z_2}{z_1}$ $n_1 = n_2 \cdot i$
Черв'ячна		Передача обертання між непересічними валами; ведучий елемент – черв'як, ведений – черв'ячне колесо	$i = \frac{z}{k}$ $n_1 = n_2 \cdot i$
Рейкова		Для перетворення обертального руху у поступальний та навпаки	$V = \pi m z n$ мм/хв.



продовження табл. 4.1

1	2	3	4
Гвинтова		Для перетворення обертового руху гвинта у поступальний рух гайки	$V = tnk$.

Позначення: n – частота обертання, хв; z – число зубів; d – діаметр шківів, мм; k – число заходів черв'яка чи гвинта; m – модуль зубчатих коліс, мм; V – швидкість поступального руху, мм/хв; t – крок гвинта, мм; γ – коефіцієнт, який враховує проковзування pasa відносно поверхні шківів ($\gamma = 0,98$).

4.6. Класифікація та маркування металорізальних верстатів

Метод обробки металів різанням безпосередньо вказує на назву верстату. Тому в зв'язку з видами обробки всі металорізальні верстати поділяють на десять груп, а кожна група на десять типів (табл. 4.3). Група верстатів визначає технологічне призначення верстату, наприклад токарна, свердлильна тощо. Тип верстату вказує один із основних параметрів верстату, ступінь його автоматизації, розміщення робочого органу та їх кількість.

По класу точності верстати поділяють на верстати нормальної точності, підвищеної точності, високої точності, особливо високої точності та особливо точні.

По масі розрізняють верстати нормальної маси (до 10 т), важкі (10-100т) і особливо важкі (більше 100 т).

По ступені спеціалізації верстати поділяють на універсальні (загального призначення), спеціалізовані, спеціальні та широко-універсальні.

Нульова група верстатів є резервною. Умовне позначення металорізальних верстатів включає цифри і букви. Перша цифра означає групу, друга – тип верстату, останні цифри – типорозмір. Буква після першої або другої цифри вказує на різні виконання та модернізацію основної базової моделі верстату. Буква в кінці цифр означає модифікацію або ступінь точності чи інші особливості верстату.



Таблиця 4.2

Умовні позначення елементів схем	
Найменування	Позначення
1	2
Вал, вісь, стержень	
Підшипник ковзання та кочення (без уточнення типу):	
а) радіальний	
б) радіально-упорний	
односторонній	
двосторонній	
в) упорний односторонній	
двосторонній	
Підшипник ковзання радіальний	
Підшипник кочення:	
а) радіальний (загальне позначення)	
б) радіальний роликовий	
в) радіально-упорний (загальне позначення) односторонній	
двосторонній	
З'єднання деталі з валом:	
а) вільне	
б) рухоме на шпонці	
в) рухоме на шліцах	
г) при допомозі витяжної шпонки	
д) нерухоме	
З'єднання двох валів:	
а) нерухоме (глухе)	
б) нерухоме із запобіганням від перевагнення	
в) еластичне	
г) зубчастою муфтою	
д) запобіжною муфтою	



продовження табл. 4.2

1	2
Муфти зчеплення кулачкові:	
а) одностороння	
б) двохстороння	
Муфти зчеплення фрикційні:	
а) загальне позначення	
б) односторонні	
в) двохсторонні	
г) дискові двосторонні	
д) двосторонні електромагнітні	
Зубчасті колеса:	
а) циліндричне прямозубе	
б) циліндричне косозубе	
в) циліндричне шевронне	
г) конічне	
Блок зубчастих коліс	
Гвинт, що передає рух	
Гайка на гвинті:	
а) нерознімна	
б) рознімна	
Черв'як	
Черв'ячне колесо	
Рейка	
Рейкове колесо	
Пружина циліндрична стиску	
Електродвигуни	

Позначення: z – число зубців колеса; m – модуль зубчастої передачі; t – крок різьби гвинта (гайка); k – число заходів черв'яка.



Таблиця 4.3
Групи та типи металорізальних верстатів

Верстати	Група	Тип						Свердильно- відрізні
		0	1	2	3	4		
1	2	3	4	5	6	7		
-	0	-	-	-	-	-		
Токарні	1	Автомати та напівавтомати			Револьверні	Свердильно- відрізні		
		Спеціалі- зовані	одношпінде- льні	багатшпіндельні				
Свердильні та розточні	2	-	Вертикаль- но- свердильні	Напівавтомати		Координатно- розточні		
				Одношпіндельні	Багатшпін- дельні			
Шліфувальні, полірувальні, доводочні та заточні	3	-	Кругло- шліфуваль- ні	Внутрішньо- шліфувальні	Обдираль- но- шліфуваль- ні	Спеціалізовані шліфувальні		
Комбіновані	4	-	Світлопро- меневі	Електрохімічні шліфу- вальні, хонінгувальні, суперфінішні		Електрохімічні копірувально- прошивальні, для видалення заусенців, маркування, контурно- доводочні	Електро- ерозійні вирізні	



продовження табл. 4.3

1	2	3	4	5	6	7
Зуборізко-оброблюючі	5	Різбонарізні	Зубостругальні для циліндричних коліс	Зуборізні для конічних коліс	Зубофрезерні для циліндричних коліс і шліцевих валів	Для нарізання черв'ячних пар
Фрезерні	6	Барабанно-фрезерні	Вертикально-фрезерні консолі	Фрезерні неперервної дії	Поздовжньо-фрезерні одностійкові	Копіювально-фрезерні та гравіювальні
Стругальні	7	-	Одностійкові	Поздовжні	Поперечно-стругальні	Довбальні
Розрізні	8	-	Різцем	Відрізні, які працюють абразивним кругом	Гладким або насичним диском	Правильно-відрізні
Різні	9	-	Опилювальні	Пилонасічні	Правильно і безцентрово-обдиральні	-



продовження табл. 4.3

Група	Тип				
	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6
0	-	-	-	-	-
1	Карусельні	Токарні та лобові	Бататорізцеві, копірувальні	Спеціалізовані	Різні токарні
2	Радіально-сверлильні	Горизонтально-розточні	Алмазнорозточні	Горизонтально-сверлильні і центрові	Різні сверлильні
3	Поздовжньо-шліфувальні	Заточні	Плоскошліфувальні	Притиральні та попірувальні	Різні, які працюють абразивом
4	Електроерозійні вирізні	Електроерозійні прошивні для витягання залишків зламаного інструменту	Електроерозійні копіювальні, прошивальні, ультразвукові та електрохімічні комбіновано-прошивальні	Анодно-механічні вирізні	-



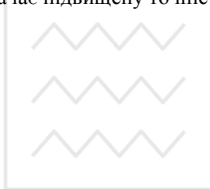
продовження табл. 4.3

1	2	3	4	5	6
5	Для обробки торців зубців	Різьбофрезерні	Зуооброблювальні, перевірочні та обкатувальні	Зубо- і різьбошліфувальні	Різні зубо- і різьбо оброблювальні
6	Вертикально фрезерні безконсольні	Поздовжньо-фрезерні двохстійкові	Консольно-фрезерні широконі	Горизонтально-фрезерні консольні	Різні фрезерні
7	Протяжні горизонтальні	-	Протяжні вертикальні	-	Різні стругалі
8	Стрічкові	Пили		-	-
9	Для випробовування свердел, шліфувальних кругів	Дискові Ділильні машини	Ножівочні Балансувальні	-	-



Приклад позначення: К62 –токарна група, 6 – тип, модифікація К і максимальний діаметр, який може бути оброблений на цьому верстаті 400 мм (200 – висота центрів); 2А135 – свердлильна група, 1 – тип верстату (вертикально – свердлильний), модифікація А і максимальний діаметр свердла, яке може бути використано на цьому верстаті 35 мм; 6Н81 – фрезерна група, 8 – тип верстату (горизонтально-фрезерний консольний), модифікація Н і 1 – номер столу.

Для верстатів з програмним управлінням (ПУ) в позначення вводять букву Ф з цифрою: Ф1 – верстати з попереднім набором координат і цифровою індикацією; Ф2 – з позиційною системою числового програмного управління (ЧПУ); Ф3 – з контурною системою ЧПУ. Наприклад, модель 16К20ПФ3, буква "П" означає підвищену точність.





5. Точіння – як один із методів обробки металів різанням

5.1. Типи токарних верстатів. 5.2. Способи кріплення заготовок на токарному верстаті. 5.3. Точіння конусів на токарно-гвинторізному верстаті. 5.4. Класифікація різців. Основні частини та елементи різця. 5.5. Площини і геометричні параметри різця. 5.6. Вплив геометричних параметрів різця на процес різання. 5.7. Кінематичні кути різця. 5.8. Види точіння, елементи режиму різання та переріз шару, що зрізається. 5.9. Сили різання та крутний момент. 5.10. Потужність і середній тиск на різець. 5.11. Методика вибору режимів різання при точінні. Штучний та основний час.

5.1. Типи токарних верстатів

Токарні верстати дозволяють виконувати зовнішнє точіння, свердління, розточування, зенкерування, розвірчування отворів, нарізання внутрішньої та зовнішньої різьби, а також (при наявності спеціальних пристроїв) – копіювальні роботи, зміцнення як зовнішньої так і внутрішньої поверхні (накатування роликом), накатування рифлених поверхонь.

Верстати токарної групи є найбільш поширеними в машинобудуванні та металообробці. Найбільшого застосування набули токарно-гвинторізні, токарно-револьверні, токарно-лобові, токарно-карусельні верстати та багаторізцеві токарні напівавтомати.

Найбільш поширеним типом токарної групи є 6 тип, який має в позначенні цифру 6 (1K62, 1M63, 16K20). На відміну від інших верстатів токарної групи, цей тип дозволяє обробляти гвинтові поверхні, так як в нього обертання заготовки зв'язано з поступальним переміщенням інструменту (рис. 33).

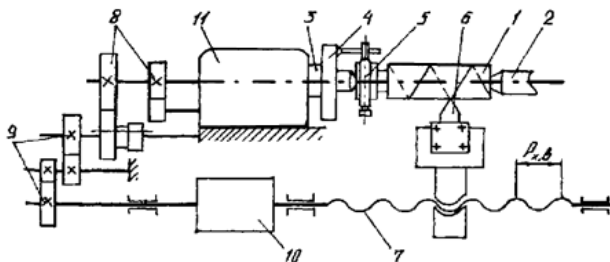


Рис. 33. Спрощена схема токарного верстату

Заготовка 1 встановлена в центрах 2. Обертання заготовки передається від шпинделя 3 верстату через повідковий патрон 4 і хомутик 5, який закріплений на заготовці. Обробка заготовки проходить різцем 6, який переміщається суппортом, зв'язаним з ходовим гвинтом 7. Рух від шпинделя передається до ходового гвинта через трензель 8, гітару змінних коліс 9 і коробку подач 10. Швидка зміна частоти обертання шпинделя в процесі обробки заготовки проводиться за допомогою коробки швидкостей 11.

Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстату наведений на рис. 34.

Всі вузли змонтовані на станині 8 коробчатої форми, на якій виконані основні базові поверхні. Зліва на одній із площин прилягання верстату жорстко закріплена шпиндельна бабка 1, в якій розміщений механізм коробки швидкостей. З правої сторони станини на спеціальних направляючих знаходиться задня бабка 9, в отворі якої встановлюється піноль 7 для закріплення в кінцевому отворі кінцевих інструментів і допоміжної оснастки (центри, патрони тощо). Шпиндель 2 і отвір пінолі розміщені на загальній осі, яка називається лінією центрів. Відстань лінії центрів до станини зв'язано з основною технологічною характеристикою токарного верстату – найбільший діаметр заготовки, який установлений над станиною. Для верстату 16K20 цей діаметр рівний 400 мм. З лівої сторони на бічній поверхні станини закріплена коробка подач 15, яка представляє собою багатошвидкісну зубчасту передачу, яка



отримує обертання від шпинделя і через гітару змінних коліс передає його двом своїм вихідним елементам: ходовому валу 12 чи ходовому гвинту 11.

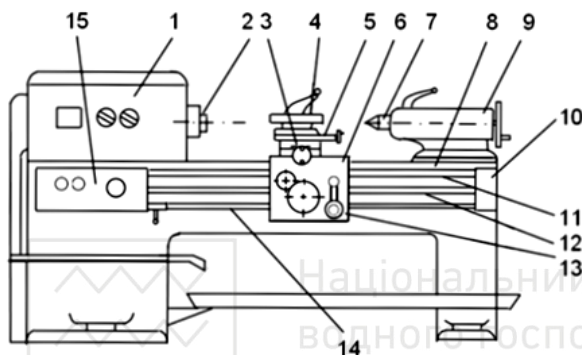


Рис. 34. Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстату

Ходовий гвинт є тільки в токарно-гвинторізному верстаті, де використовується при нарізанні різьби. Між шпиндельною та задньою бабкою на основних направляючих станини переміщується супорт, на каретці 6 якого виконані направляючі для переміщення по них поперечних салазок 3. На верхній площині салазок змонтований верхній супорт 5, який може виконувати установочне повертання навколо осі. Салазки переміщуються вздовж своїх направляючих і несуть на собі різцетримач 4. При нарізанні різьб рух поступає на супорт по більш короткому та точному кінематичному ланцюгу через ходовий гвинт 11 і гайку, яка закріплена в фартусі 13 супорта. При всіх інших видах обробки рух на супорт передається по ходовому валу 12 через механізм фартука на рейкову шестерню, яка знаходиться в зачепленні з закріпленою на станині рейкою та переміщається разом з супортом в поздовжньому напрямку.

Ходовий гвинт і ходовий вал своїми правими цапфами встано-



влені в підшипниках кронштейна 10 станини. В цьому ж кронштейні встановлено валик 14 включення фрикційної муфти головного приводу.

Коробка швидкостей забезпечує 24 прямих і 12 обернених частот обертання шпинделя.

Токарно-револьверні верстати відносяться до 3 типу, відповідно в позначенні вони мають цифру 3 (1Н318, 1Н325, 1А340, 1365).

Найбільше поширення отримали верстати в серійному виробництві. Для закріплення заготовок застосовують самоцентруючі патрони з пневмоприводом, а при обробці заготовок із прутка – цангові патрони.

Револьверні верстати відрізняються від інших верстатів токарної групи тим, що вони замість задньої бабки мають супорт з револьверною головкою, в якій в певній послідовності закріплюються різні інструменти. Ці верстати використовуються для обробки заготовок більш складної форми при використанні великої кількості інструментів. Можна обробляти деталі із прутка, штучного лиття, ковані та штамповані заготовки (деталі типу штуцерів, ступінчатих валів, фланців, кілець, втулок, кришок, шестерень тощо).

По розміщенню осі обертання револьверної головки розрізняють верстати з горизонтальною, вертикальною та з похилою віссю обертання (рис. 35).

На верстатах з вертикальною та похилою віссю обертання револьверної головки 1 є поперечний супорт 2, а на верстатах з горизонтальною віссю обертання поперечний супорт відсутній, так як його функції, зв'язані з поперечним переміщенням інструменту, виконує револьверна головка.

Закріплення заготовки та надання їй певної частоти обертання виконується за допомогою коробки швидкостей, яка розміщена в шпиндельній бабці 3.

Різальний інструмент закріплюється в револьверній головці 1 і в головці поперечного супорта 2, які надають інструменту рух подачі. Шпиндельна бабка, револьверна головка та поперечний супорт змонтовані на станині 4.

Загальний вигляд токарно-револьверного верстату наведений



на рис. 36.

Всі вузли змонтовані на станині 6 коробчатої форми, на якій виконані основні базові поверхні. Зліва на одній із площин прилягання верстату жорстко закріплена шпindelна бабка 7, в якій розміщений механізм коробки швидкостей. З правої сторони станини на спеціальних направляючих замість задньої бабки встановлено revolverний супорт 4, який переміщається в поздовжньому напрямку. На revolverному супорті розміщена revolverна головка 3, яка періодично повертається навколо своєї осі. В радіальних або осьових отворах revolverної головки закріплюється різальний інструмент (різці, блоки різців, кінцеві інструменти тощо).

Між шпindelною бабкою 7 і revolverною головкою 3 на основних направляючих станини переміщується супорт 2, на каретці якого розміщений різцетримач 1. Супорт 2 виконує поздовжні та поперечні рухи подачі.

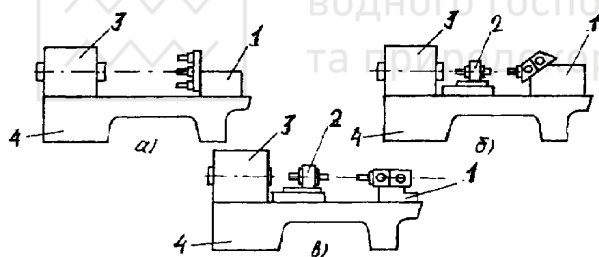


Рис. 35. Токарно-револьверні верстати:

а) – з горизонтальною; б) – з похилою;

в) – з вертикальною віссю обертання revolverної головки

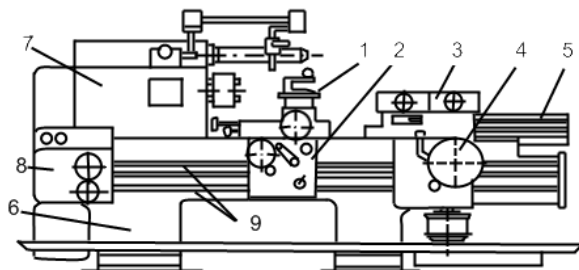


Рис. 36. Загальний вигляд токарно-револьверного верстату

Особливістю токарно-револьверних верстатів є використання в їх конструкції барабана упорів 5, який обертається синхронно з револьверною головкою. Довжина упорів визначає довжину поверхні, яка обробляється, для кожного інструменту револьверної головки.

З лівої сторони верстату на бічній поверхні станини закріплена коробка подач 8, яка представляє собою багатошвидкісну зубчасту передачу, яка отримує обертання від шпинделя та через гітару змінних коліс передає його своїм вихідним елементам 9.

Токарно-лобові, так як і токарно-гвинторізні, верстати відносяться до 6 типу, відповідно в позначенні вони мають цифру 6.

Лобові верстати використовуються для токарної обробки коротких заготовок великого діаметра (до 4 м) з невеликою масою в умовах одиничного та мілко серійного виробництва типу маховиків, шківів, дисків, зубчатих коліс тощо.

Загальний вигляд токарно-лобового верстату наведений на рис. 37.

Всі вузли токарно-лобового верстату змонтовані на станині 2 коробчастої форми, на якій виконані основні базові поверхні. Зліва на одній із площин прилягання верстату жорстко закріплена шпиндельна бабка 1, в якій змонтована коробка швидкостей 4 з шпинделем 5, на планшайбі 6 якого закріплюється заготовка.

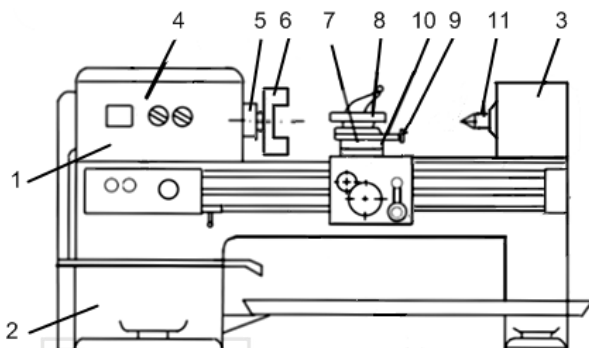


Рис. 37. Загальний вигляд токарно-лобового верстату

На поздовжніх направляючих станини розміщена рухома частина супорта 7, на якій знаходяться поздовжні 9 і поперечні 10 салазки. На поздовжніх салазках 9 закріплюється різцетримач 8, який отримує поперечне та поздовжнє переміщення від окремого електродвигуна. Відсутність в лобових верстатах кінематичного зв'язку між обертанням шпинделя і рухом подачі не дозволяє використовувати їх для нарізання різьб різцями або різьбовими гребінками. Невідповідність між малою радіальною жорсткістю шпиндельних опор і великим навантаженням на них є причиною невисокої точності цих верстатів.

З правої сторони станини на направляючих знаходиться задня бабка 3, в отворі якої встановлюється піноль 11 для закріплення в конічному отворі кінцевих інструментів і допоміжної оснастки (центри тощо.). Шпиндель 5 і отвір пінолі розміщені на загальній осі (лінії центрів). Відстань лінії центрів до станини зв'язано з основною технологічною характеристикою лобового верстату – найбільший діаметр заготовки, який установлений над станиною. Основний недолік лобових верстатів – труднощі з вивіркою та закріпленням тяжких заготовок на вертикальній площині планшайби і великі згинаючі зусилля, які діють на шпиндель верста-



ту. Цим обумовлюється низька продуктивність, невисока точність і недостатня чистота обробки. Більша частина цих недоліків усунута на карусельному верстаті.

Токарно-карусельний верстат відноситься до 5 типу, відповідно в позначенні вони мають цифру 5 (1512 – діаметр планшайби 1200 мм). Обробляються на цих верстатах заготовки з великим діаметром і малою висотою (диски, шайби, кришки, колеса турбін, маховики, корпуси тощо). За допомогою цих верстатів точать циліндричні, конічні, торцеві поверхні, проточують кільцеві канавки, свердлять, зенкерують, розвірчують, розточують, нарізають різьби тощо.

Сучасні токарно-карусельні верстати є двох типів – одноствієчні та двохствієчні, якщо діаметр планшайби 2 м.

Загальний вигляд двохствієчного токарно-карусельного верстата наведений на рис. 38. Верстат має круглий стіл – карусель 1 діаметром до 21 м з вертикальною віссю обертання, що дозволяє закріплювати на шпинделі 2 планшайбу. Заготовка кріпиться на планшайбі і виконує головний рух за допомогою коробки швидкостей, яка розміщена у внутрішній порожнині станини 3, на стійках виконані вертикальні направляючі 7, по яких переміщається траверса 5 і бічний супорт 4. На траверсі 5 закріплений вертикальний 8 і revolverний 6 супорти, які отримують поздовжні рухи подачі по направляючих траверси 5 і вертикальні рухи подачі по своїх направляючих. Інструменти закріплюють в різцетримачі 9 і п'ятипозиційній revolverній головці 10.

Рух подачі супорти 8, 6 отримують від коробки подач 11, яка закріплена на торці траверси 5. Бічний супорт 4 виконує радіальний рух подачі по своїх направляючих і вертикальний рух подачі – по направляючих стійки. Управління верстатом виконується з підвісного пульта 12.

Наявність на верстаті декількох супортів дозволяє проводити паралельну обробку найбільш складних заготовок, так як обробка різаннями виконується одночасно з кінцевими інструментами (свердлами, зенкерами, розвертками), які встановлені на revolverній головці.

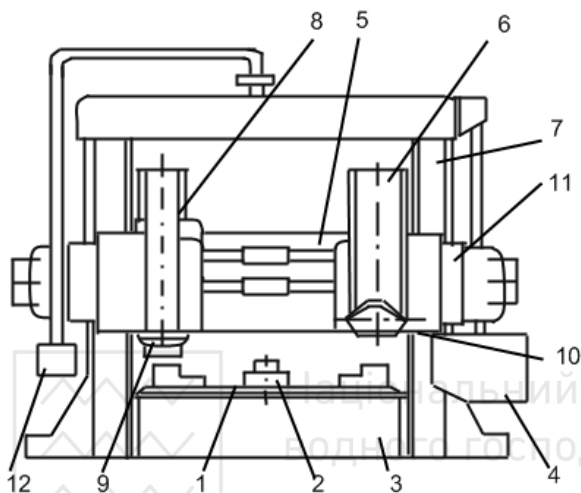


Рис. 38. Загальний вигляд двохстічного
токарно-карусельного верстату

Головний обертовий рух планшайби виконується від електродвигуна потужністю 40 кВт через коробку швидкостей, яка дозволяє отримати 18 частот обертання планшайби (від 1,4 до 48 об/хв). Горизонтальні та вертикальні переміщення супортів виконуються з подачами (від 0,2 до 9 мм/об). Конструкція верстату передбачає швидке переміщення супортів, механічне переміщення траверси та повертання револьверної готаловки.

Бічний супорт 4 служить для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь, а при горизонтальній подачі – для обробки торців, прорізання канавок, зніманні фасок, обробки фасонних поверхонь. Вертикальний супорт 8 використовується для обробки зовнішніх і внутрішніх конічних поверхонь. Револьверний супорт 6 з п'ятипозиційною головкою використовується для обробки отворів. При горизонтальній подачі супортів 8 і 6 обробляються торцеві поверхні.



Багатоторцеві токарні напівавтомати відносяться до 7 типу, відповідно в позначенні вони мають цифру 7 (1Н713) і використовуються в масовому та серійному виробництві для чорнової і напівчистої обробки зовнішніх і торцевих поверхонь заготовок (шестерень, кілець, валів тощо).

Багаторізцеві токарні верстати відрізняються від токарно-гвинторізних наявністю декількох супортів і спеціальних різцетримачів, які дозволяють, проводити обробку одночасно декількома різцями. Наладку різців виконують так, щоб кожний різець обробляв лише невеликий відрізок заготовки. Одночасна робота декількох різців і робота по замкнутому напівавтоматичному циклу значно підвищує продуктивність праці. По закінченню обробки заготовки верстат зупиняється, а для відновлення циклу готову деталь слід замінити новою заготовкою та запустити верстат.

На рис. 39 показано приклад налагодження багаторізцевого напівавтомата на обробку ступінчатого валика. Нижні різці встановлені на поперечному супорті, а верхні – на поздовжньому.

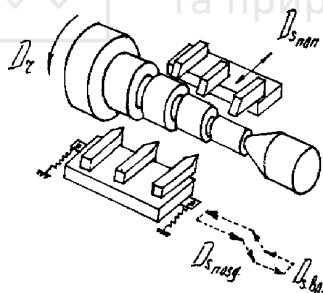


Рис. 39. Схема обробки

Загальний вигляд багаторізцевого токарного напівавтомата наведений на рис. 40. Всі вузли змонтовані на станині з коробчатої форми, на якій виконані основні базові поверхні. Зліва на одній із площин прилягання верстату жорстко закріплена



шпиндельна бабка 4, в якій розміщений механізм коробки швидкостей. З правої сторони станини на спеціальних направляючих знаходиться задня бабка 1, в отворі якої встановлюється піноль 10. На поперечних направляючих між шпиндельною бабкою 4 і задньою бабкою 1 розміщується поперечний супорт 2 з приводом поперечних подач. Верхня площина супорта 2 використовується для установки та закріплення декількох різців, які попередньо налагоджені на розмір.

Коробка подач 5 поздовжнього супорта 6 розміщена разом з ним на верхній частині станини. В правій частині верхньої частини супорту встановлена копіювальна лінійка командного апарату 9, рухомий упор 7 лінійки відскоку поздовжнього супорту на кронштейні 8. Командний апарат 9 керує автоматичним рухом верстату за допомогою шляхових перемикачів, на які діють переставні упори супорту. Лінійка відскоку своїми впадинами та виступами гарантує швидкий відскок (приблизно на 1 мм) поздовжнього супорту від заготовки в кінці робочого ходу.

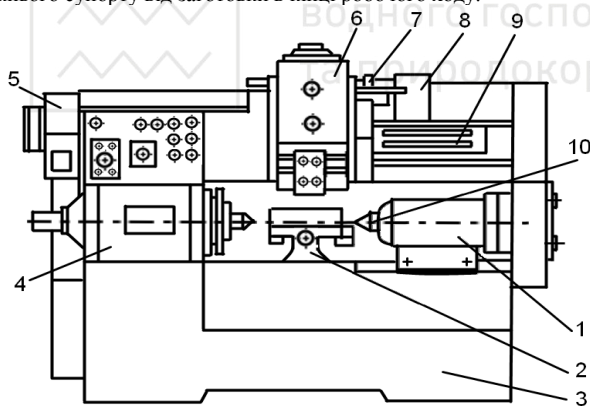


Рис. 40. Загальний вигляд багаторізцевого токарного напівавтомата

По командах шляхових перемикачів проходить швидке пере-



ключення супортів за рахунок застосування електромагнітних муфт і спеціальних кінематичних ланцюгів з робочих подач на прискорені та навпаки.

5.2. Способи кріплення заготовок на токарному верстаті

Спосіб кріплення заготовок на токарному верстаті залежить від співвідношення її довжини до діаметра. При співвідношенні $l/d < 4$ заготовка закріплюється тільки в патроні, який встановлений на шпинделі.

На токарному верстаті застосовують двоох-, трьох- і чотирьохкулачкові патрони.

В двоохкулачкових самоцентруючих патронах закріплюють різні фасонні виливки та поковки, кулачки використовуються для закріплення однієї деталі.

В трьохкулачкових самоцентруючих патронах закріплюються заготовки круглої та шестигранної форми чи круглого прутка великого діаметру.

В чотирьохкулачкових самоцентруючих патронах закріплюють прутки квадратного перерізу, а в патронах з індивідуальним регулюванням кулачків-деталі прямокутної або несиметричної форми.

Найбільш широке застосування отримали трьохкулачкові самоцентруючі патрони (рис. 41). В корпусі патрона встановлені три конічні зубчаті колеса 3, які мають квадратні гнізда для торцевого ключа. Колеса 3 взаємодіють з великим конічним колесом 4, яке має з другого боку торцеву різьбу 2, з якою зчеплені рейки кулачків 1.

Коли закріплення заготовок в патронах неможливо, застосовують планшайбу (рис. 42). Заготовки форми диска на планшайбі закріплюють прихватами (для закріплення патрубка використовують кутник).

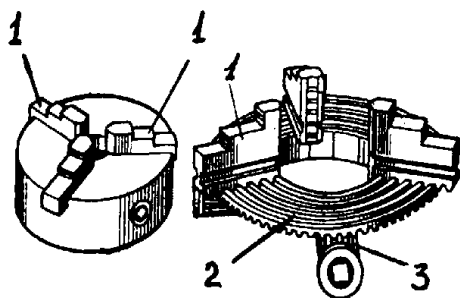


Рис. 41. Трьохкулачковий самоцентруючий патрон

Для закріплення холоднотягнутого прутка чи для повторного закріплення заготовок по попередньо обробленій поверхні використовують цангові патрони. Основною частиною цангового патрона є цанга, яка виконана у вигляді загартованої втулки розрізаної в трьох місцях, таким чином, щоб утворювалися три пружні пелюстки, кінці яких піджаті один до другого (рис. 43). Форма та розміри отвору цанги повинні відповідати профілю прутка. Цанга накручується на подаючу трубу, яка отримує осьове переміщення і виконує подачу прутка, який розміщений в ній, від кулачкового механізму чи гідравлічного приводу.

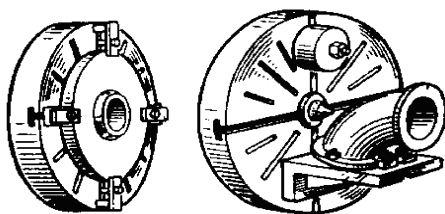


Рис. 42. Планийба

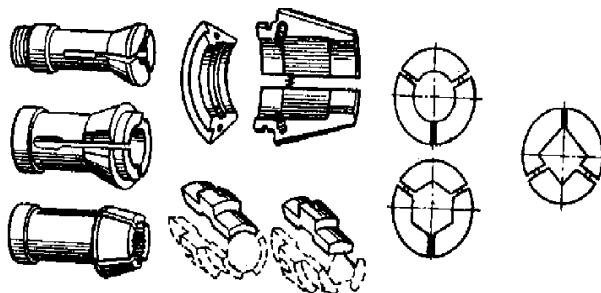


Рис. 43. Трьохпелюсткова цанга

При завантаженні верстату пруток просувається між пелюстками цанги та розсуває їх. Пелюстки притискаються силою своєї пружності до поверхні прутка. При переміщенні подаючої труби пелюстки цанги під дією сил тертя стискаються і збільшують силу зчеплення при подачі прутка.

При співвідношенні $8 > l / d > 4$ заготовка закріплюється в патроні з одночасною підтримкою центром задньої бабки. В залежності від умов обробки використовують жорсткі, обернені, задні зрізані, центри з сферичною робочою частиною, центри з рифленою поверхнею та обертові центри (рис. 44).

Жорсткі центри (рис. 44, а) мають кут при вершині робочої частини 60° і складаються із конічної робочої 1, хвостової 2 частин і малого діаметра конуса 3 для вибивання центра із гнізда.

Обернений центр (рис. 44, б) служить для установки заготовок діаметром до 4 мм. В цих заготовках замість центрових отворів виготовляють зовнішній конус з кутом при вершині 60° , який входить в внутрішній конус центра.

Задній зрізаний центр (рис. 44, в) використовується для підтримування заготовки коли необхідно підрізати торець заготовки. Установлюється він тільки в пінолі задньої бабки.

Центр з сферичною робочою частиною (рис. 44, г) застосовують в тих випадках, коли необхідно обробити заготовку, вісь якої не співпадає з віссю обертання шпинделя верстату.



Центр з рифленою поверхнею (рис. 44, д) застосовують, коли необхідно обробити заготовку з великим центровим отвором без повідкового патрона.

При обробці з великими швидкостями та навантаженнями застосовують задні обертові центри (рис. 44, е). На опорах 2, 3 і 5 хвостової частини змонтована вісь, на кінці якої виконана робоча частина 1 центра, що забезпечує її обертання разом з заготовкою.

Для передачі обертання від шпинделя до заготовки використовуються повідкові патрони 1 (рис. 45), які передають рух через палець-повідок 2 і хомутик 3. Хомутик кріпиться на деталі 5, яка обробляється в центрах 4 і 6.

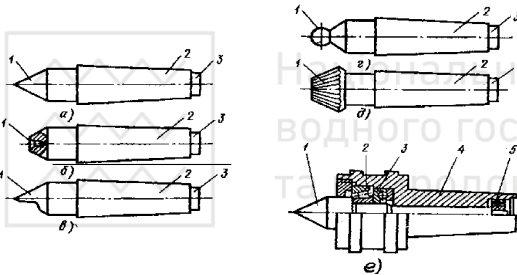


Рис. 44. Типи центрів:

а – жорсткі, б – обернені, в – задні зрізані, г – з сферичною робочою частиною, д – з рифленою поверхнею, е – обертові

При чорновій обробці в центрах валів діаметром 15...90 мм застосовують самозатискні повідкові патрони (рис. 46).

Заготовку 1 закріплюють в центрах верстату та підискають піноллю задньої бабки. Сила затиснення заготовки кулачками 2 залежить від сили різання. Після зупинки шпинделя заготовка 1 обертається по інерції і повертає кулачки 2 за годинниковою стрілкою та звільняє заготовку від кріплення.

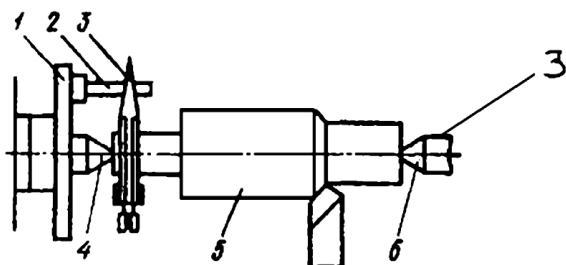


Рис. 45. Обробка в центрах з приводом заготовки від повідкового патрона

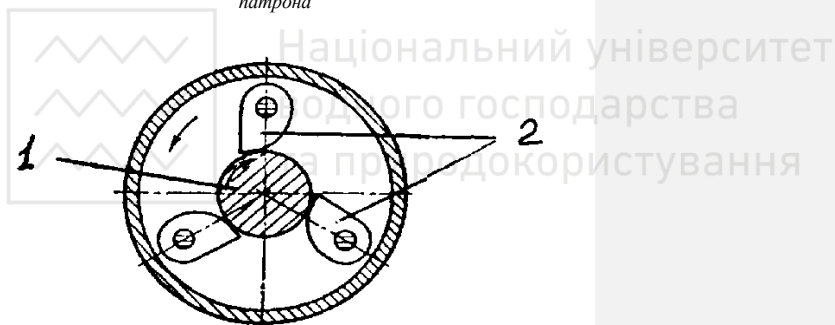


Рис. 46. Самозатискний повідковий патрон

Хомутики, які використовують для передачі крутного моменту від повідкового патрону до заготовки, виконуються двох видів: звичайний і самозатягуючий (рис. 47).

Самозатягуючий хомутик (рис. 47, б) має рухомий хвостовик 2, який закріплений в корпусі 5 на осі 4. Нижня частина хвостовика 2 обернена до заготовки та виконана ексцентрично по відношенню до осі 4 і має насічку. Для установки хомутика на заготовку хвостовик 2 нахиляють в бік пружини 3, яка після установки хомутика попередньо затягує заготовку хвостовиком. В



процесі обробки палець-поводок 1 патрона проводить кінцеву затяжку заготовки хвостовиком пропорційно силі різання.

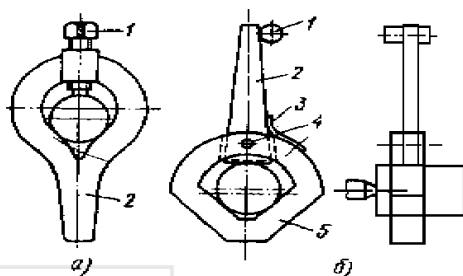


Рис. 47. Токарні хомутики: а – звичайний, б – самозатягуючий

При співвідношенні $l / d > 8$ заготовка закріплюється в центрі чи в патроні з підтримкою центром задньої бабки і підтримкою лонетом. В залежності від умов обробки використовують нерухомий і рухомий лонети.

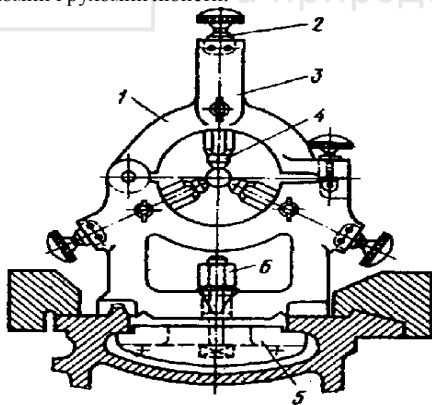


Рис. 48. Нерухомий лонет



Нерухомий люнет (рис. 48) встановлюють на направляючих станині верстату та закріплюють планкою 5 за допомогою болта і гайки 6. Верхня частина 1 люнета відкидна, що дозволяє знімати та встановлювати заготовку на кулачки 4, які служать опорою для заготовки і підтискається до заготовки гвинтами 2. Гвинти 2 фіксуються болтами 3. В місцях контакту кулачків з заготовкою проточують канавку.

Рухомий люнет (рис. 49), на відміну від нерухомого, має два кулачки 1, які служать опорою для заготовки. Третьою точкою опори є різець. Рухомий люнет кріпиться на каретці 2 супорта та переміщається при обробці вздовж заготовки. Регулювання кулачків виконується гвинтами 3.

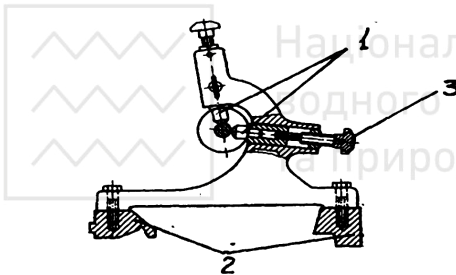


Рис. 49. Рухомий люнет

5.3. Точіння конусів на токарно-гвинторізному верстаті

Існує чотири методи точіння конусів на токарно-гвинторізному верстаті. До першого методу відноситься точіння конусів широким різцем (рис. 50).

Кут між різальною кромкою різця та горизонталлю відповідає куту конусності. Широким різцем можна обточувати конічні поверхні довжиною не більше 15 мм.

До другого методу відноситься точіння конусів за допомогою повороту верхнього супорта (рис. 51). При точінні конічних по-



верхонь методом повороту верхніх салазок нижні салазки залишаються нерухомими, а подача виконується верхніми салазками вручну. Величина утворюючого конуса в цьому випадку обмежується величиною ходу верхніх салазок. Верхня частина супорту повинна бути повернута на кут α , який рівний куту нахилу утворюючого конуса до його осі.

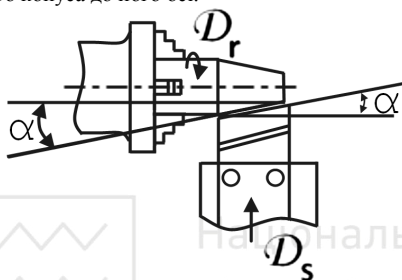


Рис. 50. Точіння конусів широким різцем

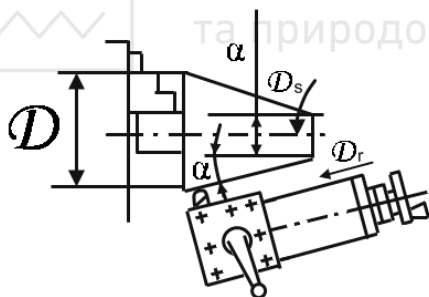


Рис. 51. Точіння конусів за допомогою повороту верхнього супорту

Якщо цей кут не заданий на кресленні, його можна визначити за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{2}, \quad (1)$$

де D і d – діаметри конуса.



До третього методу відноситься точіння конусів шляхом зміщення корпуса задньої бабки (рис. 52). Цей метод використовується при обробці довгих конічних поверхонь з малими кутами конуса α . Величини зміщення задньої бабки в поперечному напрямку (H) визначається із залежності:

$$H = L \sin \alpha, \quad (2)$$

де L – відстань між центрами; α – кут конусності.

Середня довжина задньої бабки становить 20 мм.

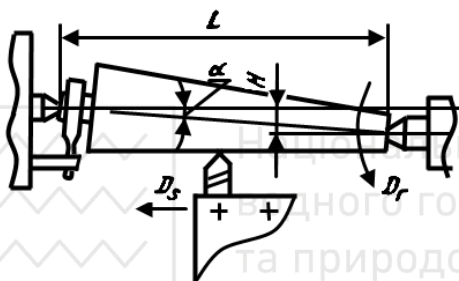


Рис. 52. Точіння конусів шляхом зміщення корпуса задньої бабки

До четвертого методу відноситься точіння конусів за допомогою конусної лінійки (рис. 53).

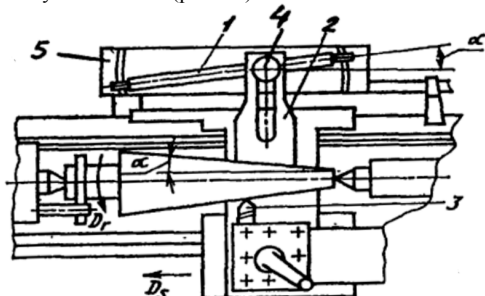


Рис. 53. Точіння конусів за допомогою конусної лінійки



Точіння конусів за допомогою конусної лінійки забезпечує отримання найбільшої точності кутів. Тяга 2 постійно притискає різець 3 до заготовки, так як вона зв'язана з повзуном 4, який рухається по направляючій 1. Направляюча 1 має можливість встановлюватись під певним кутом на плиті 5. Цей кут відповідає куту конусності на заготовці 6. Плита 5 кріпиться до станини верстату. Гвинт поперечних салазок при точінні конуса відключається, а установка різця на глибину різання виконується верхніми салазками супорту.

На токарних верстатах з ЧПУ обробка конічних поверхонь проводиться співвідношенням поздовжнього та поперечного руху подачі, яка задається програмою.

5.4. Класифікація різців. Основні частини та елементи різця

Назва різця зв'язана з видом точіння. Поняття точіння об'єднує такі види робіт: обточування циліндричних, конічних і фасонних поверхонь; обточування та підрізання торцевих поверхонь; проточування канавок; відрізання; розточування радіусних галтелей; розточування циліндричних, конічних і фасонних отворів; нарізання зовнішніх, внутрішніх і спеціальних різьб (рис. 54).

Токарні різці класифікують: по матеріалу різальної частини, характеру операції, формі леза, напрямку руху та конструкції.

В залежності від матеріалу різальна кромка різця виготовляється із легованої або швидкорізальної сталі, твердосплавних, керамічних, алмазних, ельборових пластинок.

По характеру операції різці поділяються на чорнові та чистові. По формі і розміщенню леза різці бувають: прямі, відігнуті, зігнуті та відтягнуті (рис. 55).

У відтягнутих різців ширина леза менша ширини тіла різця. Лезо може бути розміщене симетрично по відношенню до осі державки чи бути зміщене вправо або вліво.

По напрямку руху різці поділяють на праві та ліві. У правих різців головна різальна кромка знаходиться збоку великого пальця правої руки, якщо накласти її на різець зверху. В робочому русі такі різці переміщуються з права наліво (від задньої бабки



до передньої). У лівих різців при аналогічному положенні лівої руки головна різальна кромка знаходиться збоку великого пальця. Такі різці в русі переміщуються зліва направо.

По призначенню токарні різці поділяються на прохідні, розточні, підрізні, відрізні, фасонні, різьбові та канавочні (рис. 56-63).

Прохідні різці можуть бути виконані прямими та відігнутими (рис. 56).

Прохідні відігнуті різці працюють, як прохідні з поздовжнім рухом подачі та як підрізні з поперечним рухом подачі. Для одночасної обробки циліндричних поверхонь і торцевої площини застосовують прохідні упорні, які працюють з повздовжнім рухом подачі (рис. 57).

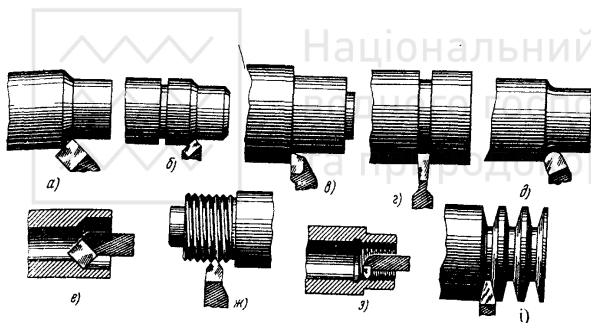


Рис. 54. Види точіння:

а – зовнішнє обточування прохідним відігнутим різцем; б – зовнішнє обточування прямим прохідним різцем; в – обточування з підрізанням уступу під прямим кутом; г – прорізання канавок, відрізання; д – обточування радіусної гантелі; е – розточування отвору; ж, з, і – нарізання різьби зовнішньої, внутрішньої та спеціальної

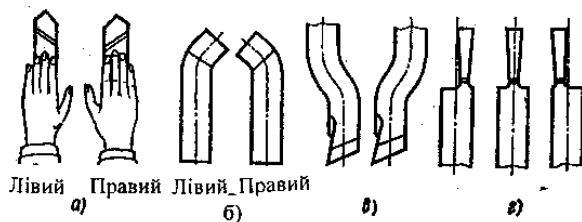


Рис. 55. Різні види токарних різців:
а – прямі; б – відігнуті; в – зігнуті; г – відтягнуті

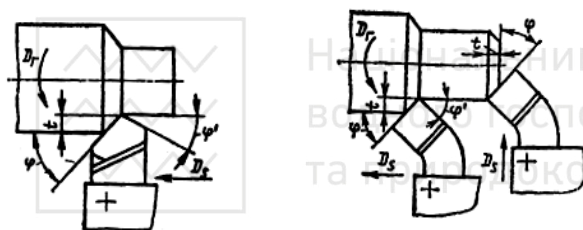


Рис. 56. Прямі та відігнуті прохідні різці

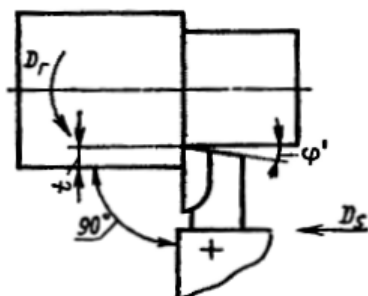


Рис. 57. Прохідний упорний різець



Підрізні різці (рис. 58) застосовують для підрізки торців заготовок і працюють вони з поперечним рухом подачі інструменту по напрямку до центра або від центра заготовки.

Розточні різці (рис. 59) застосовують для розточування існуючих отворів, які отримані литтям, свердлінням або штампуванням. Є два види прохідних різців: для обробки наскрізних отворів – прохідні, для глухого розточування – упорні.

Тіло розточних різців виконано у вигляді конуса, який збільшує свій діаметр від леза до затискної частини, яка виконана прямокутною або квадратною. Розточні різці працюють при великих вилітах, тому вони працюють при невеликих глибинах різання. При розточуванні отворів застосовують розточні різці, які закріплені в спеціальних оправках, які гарантують регулювання вильоту різця.

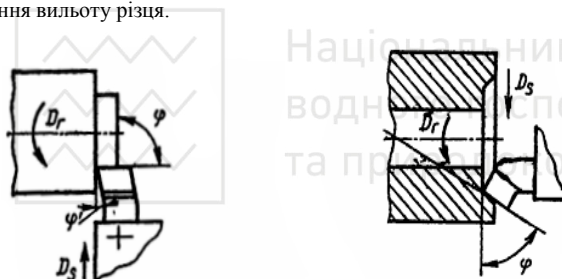


Рис. 58. Підрізні різці

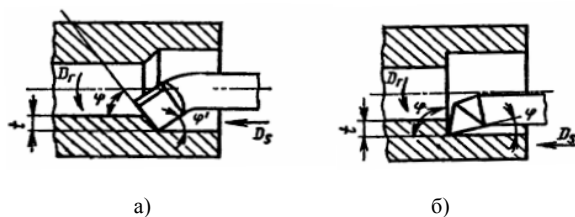


Рис. 59. Розточні різці:
а – прохідний, б – упорний



Відрізнi різці (рис. 60) застосовують для проточування каналок, розрізання заготовок на частини. Ці різці працюють з поперечним рухом подачі. У стандартних відрізнних різців ширина різальної кромки дорівнює $a = 3 \dots 10$ мм і обирається в залежності від діаметра заготовки за формулою:

$$a = 0,6 \cdot D^{0,5} \quad (3)$$

При відрізанні деталі різцем з прямою різальною кромкою на ній залишається шийка, яка відсутня при точінні різцем з похилою різальною кромкою.

Фасонні різці бувають призматичні та дискові (рис. 61, 62), застосовуються для обробки коротких фасонних поверхонь з довжиною утворюючої лінії до 30...40 мм, при цьому форма різальної кромки відповідає профілю деталі. Ці різці працюють з радіальним рухом подачі.



Рис. 60. Відрізнi різці:

а – з прямою головною різальною кромкою; *б* – з нахиленою різальною кромкою

Фасонні призматичні різці (рис. 61) міцніші дискових, але вони застосовуються для обробки тільки зовнішніх поверхонь. Кріплення призматичного різця 1 в оправці 2 забезпечує більшу жорсткість. При переточці, яка виконується тільки по передній поверхні, робочий профіль фасонних призматичних різців залишається незмінним.

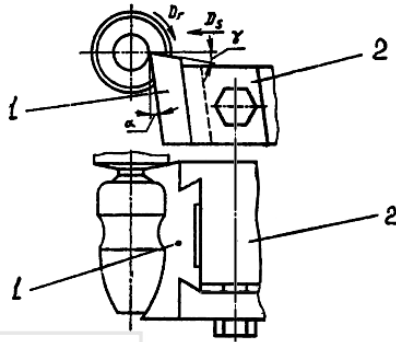


Рис. 61. Фасонний призматичний різець.
1 – різець; 2 – оправка

Фасонні дискові різці (рис. 62) прості у виготовленні та застосовуються при обробці зовнішніх і внутрішніх фасонних профілей.

Ці різці представляють собою тіло обертання, яке має отвір чи хвостовик для закріплення.

На токарно-гвинторізних верстатах фасонні поверхні обробляють, як правило стержневими фасонними різцями (рис. 63), які закріплюють в різцетримачі верстату.

Різьбові різці застосовують для нарізання зовнішніх і внутрішніх різьб (рис. 64) будь-якого профілю: прямокутні, трикутні, трапецієвидні. Форма реального леза різьбових різців відповідає профілю та розмірам поперечного перерізу різця.

Багатониткові різці називаються гребінками. Нарізання різьб різцями по зрівнянню з іншими методами виготовлення різьб (крім різьбошліфування) забезпечує найбільшу точність по кроку та профілю.

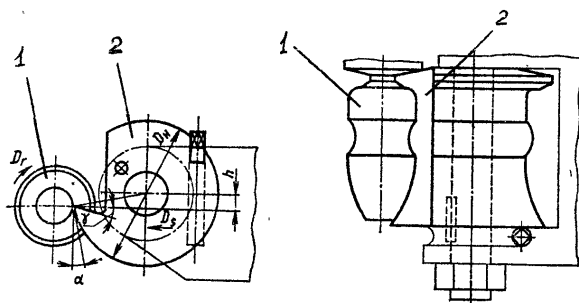


Рис. 62. Фасонний дисковий різець:
1 – заготовка; 2 – різець

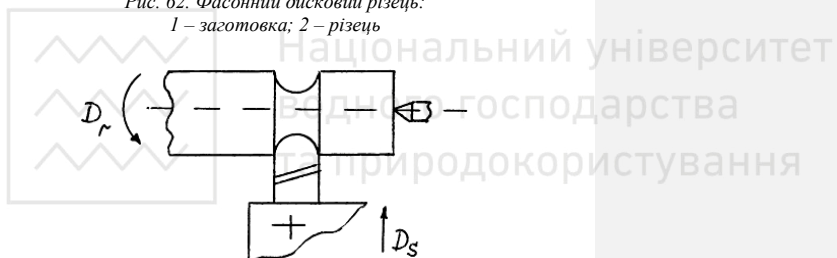


Рис. 63. Стержневий фасонний різець

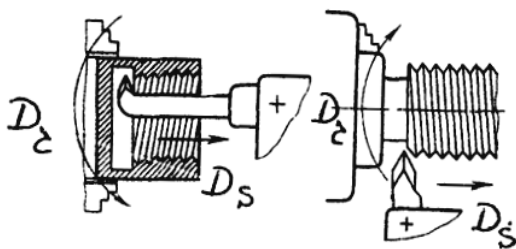


Рис. 64. Різьбові різці



Токарний різець має свої частини та елементи. До частин відноситься робоча частина 1 (головка різця) і тіло різця 2 (рис. 65).

Робоча частина необхідна для зрізання стружки та її відводу від заготовки, а тіло – для закріплення в різцетримачу.

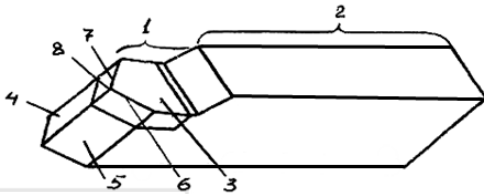


Рис. 65. Токарний різець

На головці різця розрізняють такі поверхні: передню 3, якою сходиться стружка; задні 4 і 5 – обернені до заготовки. Перетин передньої та задніх поверхонь утворює різальні кромки. Різальна кромка 6, що виконує основну роботу різання називається головною, а різальна кромка 7 – допоміжною. Задня поверхню 5, що проходить через головну різальну кромку називається головною задньою поверхнею, а поверхня 4, яка проходить через допоміжну різальну кромку – допоміжною задньою поверхнею. Перетин головної та допоміжної різальних кромок утворює вершину різця 8.

5.5. Площини та геометричні параметри різця

При обробці заготовок на токарних верстатах на різцях розрізняють такі поверхні: яку обробляють 1, оброблену 2 і поверхню різання 3 (рис. 66). Остання утворюється безпосередньо головною різальною кромкою. Щоб визначити кути, під якими заточують головку різця, визначені наступні координатні та січні площини:

- площина різання 4 є дотичною до поверхні різання 3 та проходить через головну різальну кромку;



- основна площина в плані 5 є паралельною поздовжньому та поперечному переміщенню різця під час роботи;
- головна січна площина 6 (на рисунку показано слід) є перпендикулярною до проекції головної різальної кромки на основну площину;
- допоміжна січна площина 7 є перпендикулярною до проекції допоміжної різальної кромки на основну площину.

Кожна із перерахованих вище площин обумовлює свої кути. Кути які виміряні в головній січній площині називаються головними, а кути які виміряні в допоміжній площині – допоміжними.

Розглянемо головну січну площину 6 (рис. 66). Ця площина обумовлює головний задній кут α (кут між головною задньою поверхнею та площиною різання), кут загострення β (кут між передньою та задньою поверхнями різця), головний передній кут γ (кут між передньою поверхнею і площиною, перпендикулярною до площини різання) (рис. 67).

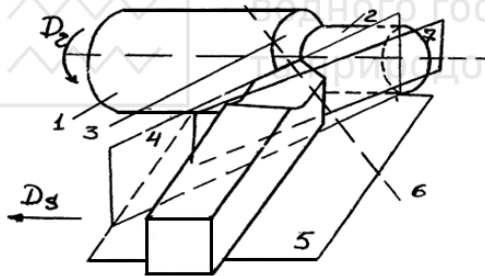


Рис. 66. Площини різання

Кут різання δ – кут між передньою поверхнею та площиною різання. Залежність між кутами головної січної площини така: $\alpha + \beta = \delta$, $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. Отже, $\delta + \gamma = 90^\circ$. Якщо кут різання δ менший від 90° , то передній кут різця вважається додатнім, а якщо він більше за 90° , – то від'ємний.

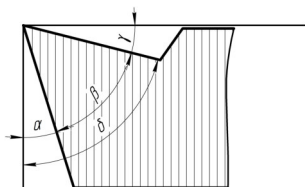


Рис. 67. Кути головної січної площини

Розглянемо основну площину в плані 5. Ця площина обумовлює головний кут в плані φ (кут між проекцією головної різальної кромки на основу площини і напрямком повздовжньої подачі), допоміжний кут в плані φ_1 (кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і напрямком, зворотнім напрямку повздовжньої подачі), кут при вершині ε (кут між проекціями різальних кромки на основну площину) (рис. 68).

Залежність між кутами основної площини в плані така:

$$\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ. \quad (4)$$

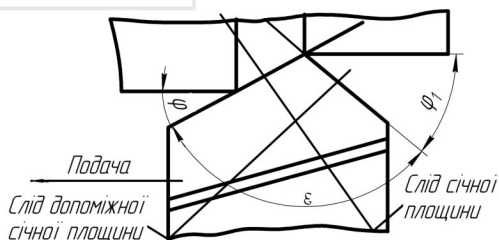


Рис. 68. Кути основної площини в плані

Розглянемо площину різання 4. Ця площина обумовлює кут нахилу головної різальної кромки λ , (кут між головною різальною кромкою та лінією яка проведена через вершину різця паралельно основній площині в плані) (рис. 69).

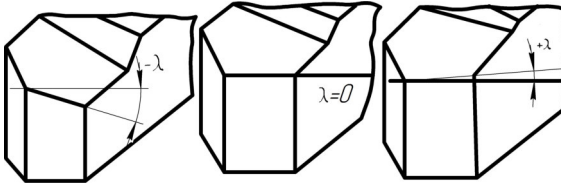


Рис. 69. Куту площини різання

Кут λ буде додатнім, коли вершина різця є найнижчою точкою різальної кромки, від'ємним – коли вершина різця є найвищою точкою різальної кромки та рівним 0 – коли різальна кромка паралельна основній площині в плані.

Розглянемо допоміжну січну площину 7. Ця площина обумовлює допоміжний задній кут α_1 (кут між допоміжною задньою поверхнею та перпендикуляром до основної площини в плані) (рис. 70).

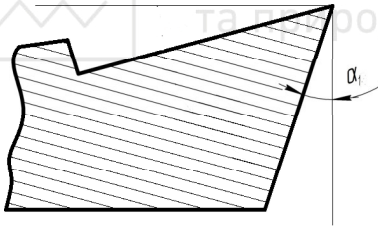


Рис. 70. Кут допоміжної січної площини

5.6. Вплив геометричних параметрів різця на процес різання

Величини кутів мають значний вплив на процес зрізання стружки. Головний задній кут α зменшує тертя задньої поверхні різця об поверхню різання. $\alpha = 6...12^\circ$ для обробки сталейних і чавунних деталей, черезмірне збільшення цього кута проводить до ослаблення різальної кромки.



Головний передній кут γ впливає на процес різання різальної кромки в матеріал, який обробляється. Різці з великими додатніми передніми кутами краще врізаються в оброблюваний матеріал, але мають ослаблену різальну частину, тому і використовуються для обробки м'яких і пластичних матеріалів. Наприклад, при обробці м'якої низьковуглецевої сталі $\gamma = 8 \dots 20^\circ$. Чим більший цей кут, тим краща чистота поверхні. Для обробки твердих і крихких матеріалів застосовуються різці з невеликими додатними і навіть від'ємними передніми кутами. Найчастіше величину переднього кута беруть в межах від -10° до $+20^\circ$. При обробці дуже твердих сталей цей кут $\gamma = -5^\circ \dots -10^\circ$.

Розглянуті два кути взаємозв'язані з кутом загострення β прямопропорційною залежністю.

Головний кут в плані ϕ впливає на стійкість різця та чистоту обробленої поверхні, його призначають в межах $30 \dots 90^\circ$, так як цей кут визначає співвідношення між радіальною і осовою силами різання. При обробці деталей малої пружності, кут ϕ беруть близький або рівний 90° , так як в цьому випадку радіальна сила, яка викликає прогин деталі, мінімальна. Найбільш поширений кут ϕ при обробці на універсальних токарних верстатах 45° .

Допоміжний кут в плані ϕ_f впливає на тертя та схід стружки. Цей кут знаходиться в межах $0 \dots 45^\circ$. Найбільш поширений кут $\phi_f = 12 \dots 15^\circ$.

Кут нахилу головної різальної кромки λ визначає напрям сходу стружки. При додатньому значенню λ стружка сходить на оброблену поверхню, а при від'ємному – на поверхню, яка обробляється. Кут λ часто приймають рівним 0. При чистовій обробці кут λ приймати додатнім не рекомендується, так як стружка може зменшити чистоту обробленої поверхні.

На величину кутів також впливає розміщення вершини різця відносно центру обертання заготовки. Розглянемо на прикладі кутів γ і α . При обробці зовнішньої поверхні різцем, вершина якого знаходиться вище осі заготовки, передній кут γ збільшиться, а задній зменшиться по відношенню до кутів α і γ різця, вершина якого знаходиться точно на осі заготовки, яка обробляється (рис. 71).



При розміщенні вершини різця нижче осі заготовки, кут γ зменшується, а кут α збільшується.

При розточуванні отвору вплив установки різця по висоті на кут γ і α обернений. При установці вершини різця вище центра, передній кут γ зменшується, а задній α – збільшується (рис. 72). При установці вершини різця нижче центра передній кут γ зростає, а задній α – зменшується.

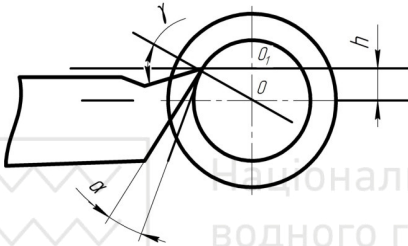


Рис. 71. Розміщення вершини різця вище осі обертання заготовки при зовнішньому точінні

При установці осі різця перпендикулярно осі заготовки головний і допоміжний кути в плані також відповідно змінюються.

Отже, при необхідності зміни кутів різання необов'язково різці перезаточувати, достатньо підняти або опустити вершину різця відносно центру обертання заготовки.

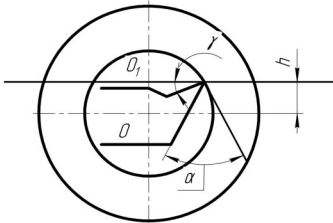


Рис. 72. Розміщення вершини різця вище осі обертання заготовки при розточуванні



5.7. Кінематичні кути різця

Крім кутів, які визначаються при нерухомому різці та заготовці існують кінематичні кути (кути в русі) при обертанні заготовки і подачі різця. Розглянемо процес точіння валу прохідним різцем (при $\varphi = 90^\circ$, $\lambda = 0$) з установкою по центру заготовки (рис. 73).

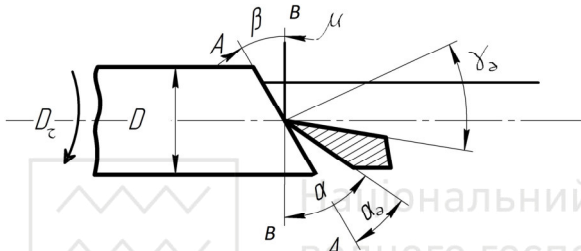


Рис. 73. Кінематичні кути різця

Внаслідок двох рухів (обертання заготовки, поздовжня подача різця) при точінні вершина створює на поверхні заготовки спіраль, поверхню у вигляді гвинтової лінії. AA – слід фактичної площини різання, BB – слід теоретичне площини різання. Фактична площина різання дотична до гвинтової лінії і складає з теоретичною площиною різання кут μ .

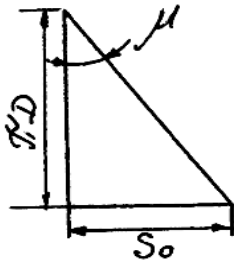


Рис. 74. Точіння по гвинтовій лінії



Кінематичний передній кут γ_o буде більший за нерухомий кут γ на величину μ , а кінематичний задній кут α_o буде менший за нерухомий кут α на величину μ :

$$\gamma_o = \gamma + \mu; \quad \alpha_o = \alpha - \mu. \quad (5)$$

Точіння виконується по гвинтовій лінії (гіпотенуза трикутника на рис. 74). Величину кута μ можна визначити з виразу:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{S_0}{\pi \cdot D}, \quad (6)$$

де S_0 – подача різця, $\pi \cdot D$ – довжина кола заготовки.

Враховуючи цю залежність, дійсний передній і задній кут отримає вигляд:

$$\gamma_o = \gamma + \operatorname{arctg} \frac{S_0}{\pi \cdot D}, \quad (7)$$

$$\alpha_o = \alpha - \operatorname{arctg} \frac{S_0}{\pi \cdot D}. \quad (8)$$

При точінні різцями, в яких $\varphi \neq 90^\circ$, кут μ_φ визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \mu_\varphi = \operatorname{tg} \mu \cdot \sin \varphi = \frac{S_0}{\pi \cdot D} \cdot \sin \varphi. \quad (9)$$

Кінематичні кути в цьому випадку визначаються за залежністю:

$$\gamma_o = \gamma + \mu_\varphi = \gamma + \operatorname{arctg} \left(\frac{S_0}{\pi \cdot D} \cdot \sin \varphi \right), \quad (10)$$

$$\alpha_o = \alpha - \mu_\varphi = \alpha - \operatorname{arctg} \left(\frac{S_0}{\pi \cdot D} \cdot \sin \varphi \right). \quad (11)$$



В звичайних умовах різання кут μ_ϕ дуже малий (менше 1°) і ним можна знехтувати. Але при нарізанні великої різьби, а також при нарізанні великими подачами вплив кута μ_ϕ на зміну величини головних кутів різця необхідно враховувати.

5.8. Види точіння, елементи режиму різання та переріз зрізваного шару

Розрізняють три види точіння: вільне, напіввільне та блокове (рис. 75).

При вільному точінні різання виконується однією різальною кромкою. Це відповідає точінню вузького буртика з поперечною подачею (рис. 75, а).

При напіввільному точінні різання виконується двома різальними кромками: головною і допоміжною (рис. 75, б). Такому виду точіння відповідає звичайне точіння, розточування та під-різання.

При блоковому точінні в процесі різання приймають участь три різальні кромки: головна і дві допоміжні. Такий вид точіння має місце при різанні деталі, проточці канавки відрізним різцем. Довжина активного відрізка головної різальної кромки по величині значно більша активної довжини допоміжних кромek. Тому різання допоміжними різальними кромками називають іноді побічними.

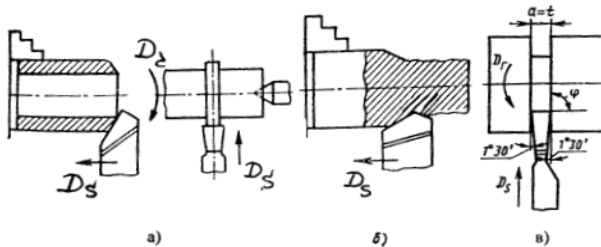


Рис. 75. Види точіння:
а – вільне, б – напіввільне, в – блокове



Елементи режиму різання

Головний рух (D_r) на токарному верстаті дозволяє виконувати процес різання, а рух подачі (D_s) дає можливість вести цей процес по всій поверхні, яка обробляється. До основних елементів режиму різання відносяться: глибина різання (t), подача (S) і швидкість різання (V).

Глибиною різання називається товщина шару металу, яка знімається за один прохід (рис. 76).

При поздовжньому точінні (рис 76, а) глибина різання дорівнює:

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad (12)$$

де D – діаметр заготовки до обробки, d – діаметр заготовки після обробки.

При підрізці за глибину різання приймається величина зрізаного шару, який вимірюється в напрямку перпендикулярному до торця, який обробляється (рис. 76, б).

При відрізці глибина різання рівна ширині відрізного різця (ширині канавки, рис. 76, в).

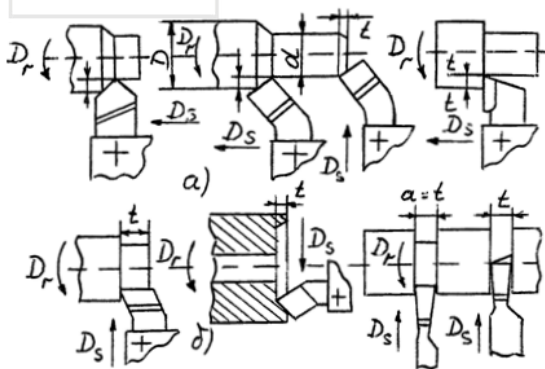


Рис. 76. Глибина різання



Під подачею (S_0) розуміють величину переміщення різця в напрямку руху подачі за час, коли деталь зробить один оберт. Крім поздовжньої та поперечної подачі розрізняють і хвилинну подачу. Хвилинна подача – це переміщення різця за одну хвилину. Зв'язок між хвилинною подачею та подачею за один оберт такий:

$$S_0 = S_{xв} / n, \text{ (мм/об)}, \quad (13)$$

де n – число обертів заготовки в хвилину.

Швидкість різання (V) – це колова швидкість переміщення поверхні деталі, яка обробляється, відносно різця в напрямку головного руху. Швидкість різання для верстатів з головним обертотворним рухом (токарні, свердлильні та фрезерні) розраховують за формулою:

$$V = \pi D n / 1000, \text{ (м/хв)}, \quad (14)$$

де D – діаметр заготовки; n – частота обертання деталі (об/хв).

Переріз зрізаного шару

На рис. 77 зображено вихідне положення різця та його положення після того як заготовка зробила один оберт, а різець перемістився на величину S_0 . Основними елементами зрізаного шару є: ширина (b), товщина (a), глибина різання (t) і подача (S_0). Так як переріз зрізаного шару є паралелограм, то його площа визначається із залежності:

$$f = S_0 t = a b, \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (15)$$

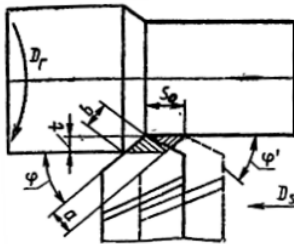


Рис. 77. Переріз зрізаного шару



Взаємозв'язок між шириною зрізуемого шару та глибиною різання, товщиною і подачею різання наступний:

$$b = t / \sin \varphi, a = S_0 \sin \varphi, \text{ (мм)}, \quad (16)$$

де φ – головний кут в плані різця.

Форма поперечного перерізу (при постійній глибині різання та подачі) залежить від форми головної різальної кромки різця і його головного кута в плані.

При прямолінійній різальній кромці та куту $\varphi = 90^\circ$, поперечний переріз зрізуемого шару є прямокутник (рис. 78). При прямокутній різальній кромці та куту $\varphi < 90^\circ$, поперечний переріз зрізуемого шару є паралелограм (рис. 77). При зміні кута φ змінюється товщина (a) та ширина (b) зрізу.

При криволінійній різальній кромці поперечний переріз зрізуваного шару отримує криволінійну форму з перемінною товщиною перерізу a , яка змінюється від 0 до S_0 (рис. 79). Головний кут в плані φ також змінюється для різних точок різальної кромки від 0 до 90° .

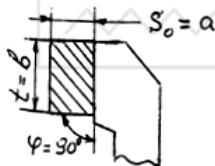


Рис. 78. Переріз зрізуваного шару у вигляді прямокутника



Рис. 79. Переріз зрізуваного шару при криволінійній різальній кромці

Для визначення об'єму зрізуваного шару матеріалу, необхідно помножити площу поперечного перерізу на довжину поверхні, яка обробляється і яка проходить відносно різця за одиницю часу. Такою величиною є швидкість різання (V):

$$Q = t S_0 V. \quad (17)$$



5.9. Сили різання та крутний момент

Визначення сил різання необхідно для розрахунку на стійкість інструменту, вузлів верстату та пристроїв. Щоб зрізати стружку, різець повинен подолати опір матеріалу, який обробляється (P_{np} , P_{nl}), сили, які діють з боку оброблюваної поверхні нормально до заданої поверхні різця (P'_{np} , P'_{nl}), сили тертя стружки об передню поверхню різця (T) і сили тертя по задній поверхні різця (T') (рис. 80).

Взаємозв'язок між силами пружної, пластичної деформації та силами тертя наступний:

$$T = f_{mp} (P_{np} + P_{nl}), \quad (18)$$

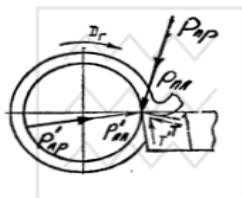


Рис. 80. Сили, які діють на різець

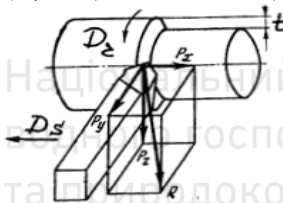


Рис. 81. Складові сили різання

$$T' = f_{mp} (P'_{np} + P'_{nl}), \quad (19)$$

де f_{mp} – коефіцієнт тертя.

При поздовжньому точінні ця система сил переборюється однією рівнодійною силою R . Звичайно, цю силу розкладають на три взаємно перпендикулярні складові: P_z , P_y і P_x (рис. 81). Сила P_z , що діє по дотичній до поверхні в напрямку головного руху, називається дотичною силою, або силою різання. Сила P_y , яка діє в горизонтальній площині перпендикулярно до осі заготовки, яка обертається, називається радіальною силою. Сила P_x , що діє в горизонтальній площині в напрямку протилежному поздовжній подачі, називають осьовою силою, або силою подачі.

Рівнодійна цих сил R є діагональ паралелепіпеда, який побудовано на складових силах, як на сторонах і може бути визначена з виразу:



$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}. \quad (20)$$

Співвідношення сил P_x/P_z і P_y/P_z не залишається сталим, а змінюється, залежно від умов різання, геометричних параметрів різця та його спрацювання. При точінні гострим різцем з геометричними параметрами: $\gamma = 15^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\lambda = 0$

$$P_y = (0,3 \dots 0,5) P_z. \quad (21)$$

$$P_x = (0,15 \dots 0,3) P_z. \quad (22)$$

Із збільшенням головного кута в плані φ радіальна сила P_y зменшується, а сила подачі P_x збільшується. При наближених розрахунках можна прийняти:

$$R \approx 1,1 P_z. \quad (23)$$

При зовнішньому точінні та розточуванні різцем із швидкорізальних сталей P_z визначається за емпіричною формулою:

$$P_z = C_p t^x S_0^y, (\text{H}), \quad (24)$$

де C_p – коефіцієнт, який залежить від матеріалу та умов різання; t – глибина різання (мм); S_0 – подача (мм/об).

Коефіцієнт матеріалу, показники степеня визначаються по довіднику в залежності від типу різця, матеріалу заготовки та різця. При затупленні різця сила різання збільшується, а застосування змащувально-охолоджуючих рідин на 10...15% зменшує силу різання.

При роботі різцями з пластинками із твердих сплавів на швидких режимах різання формула сили різання прийме вигляд:

$$P_z = C_p t^x S_0^y V^n, (\text{H}), \quad (25)$$

де V – швидкість різання.

Так, наприклад, для точіння та розточування різцем з головним кутом в плані $\varphi = 45^\circ$, $x = 1$, $y = 0,75$ і $n = -0,15$.

При передньому куті $\gamma = 10^\circ$, куті в плані $\varphi = 45^\circ$ коефіцієнт C_p має таке значення: сталь – 285; чавун сірий – 92; чавун ковкий – 81.

При збільшенні швидкості різання сила різання зменшується, що можна пояснити збільшенням температури в зоні різання, що



приводить до зменшення коефіцієнта тертя, а також зменшенням міцностних характеристик матеріалу, який обробляється.

Крутий момент на шпинделі виникає від дії сили P_z визначається за формулою:

$$M_{кр} = P_z D / 2000, \text{ (Н} \cdot \text{м)}, \quad (26)$$

де D – діаметр заготовки (мм).

За силою P_z і крутим моментом $M_{кр}$ розраховують на міцність механізм головного руху верстату – коробку швидкостей.

5.10. Потужність і середній тиск на різець

Потужність, яка затрачується на процес різання при точінні, складається з трьох складових, відповідно від складових сил P_z , P_y і P_x :

$$N_e = N_z + N_y + N_x = P_z V / 60 \cdot 10^3 + P_y S_{non} n / 60 \cdot 10^6 + P_x S_{позд} n / 60 \cdot 10^6, \text{ (кВт)}, \quad (27)$$

де V – лінійна швидкість, n – кількість обертів за хв, S – подача.

При поздовжньому точінні поперечна подача $S_{non} = 0$, тому $N_y = 0$. Величина потужності від складової сили P_x становить 1...2% всієї потужності, що витрачається на різання, тому її звичайно не враховують і ефективна потужність N_e визначається за формулою:

$$N_e = P_z V / 60 \cdot 10^3, \text{ (кВт)}. \quad (28)$$

Середній тиск на різець

Закон розподілення тиску на передній поверхні різця впливає на зношення різальних кромek інструменту і дозволяє орієнтуватися у виборі раціональної геометрії різального інструменту. Середній тиск різання визначається за залежністю:

$$P_c = \frac{P_z}{f} = \frac{P_z}{a \cdot b} = \frac{R_z}{t \cdot S}, \quad (29)$$

де P_z – головна складова сила різання (Н), f – площа зрізу (мм), a і b – товщина та ширина зрізу (мм).

Максимальний тиск має місце на різальній кромці.



5.11. Методика вибору режимів різання при точінні. Штучний та основний час

Найвигідніший режим різання буде такий, при якому деталь потрібної якості виготовляється при мінімальних затратах. Глибину різання слід брати рівну припуску на обробку на даній операції. Якщо припуск не можна зняти за один прохід, то кількість проходів повинна бути найменша. При чистовому точінні (до 5 класу чистоти) глибина різання назначається 0,5...2 мм. Для отримання при точінні 6...7 класу чистоти поверхні глибина різання назначається в межах 0,1...0,4 мм.

Після призначення глибини різання вибирається максимально допустима подача. Робота з подачами меншими чим максимально технологічно допустимими неефективно. При чистовій обробці подача, як правило, обмежується класом чистоти поверхні деталі, яка обробляється.

По вибраній глибині різання та подачі розраховується допустима швидкість різання:

$$V_{\text{доп}} = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_0^y} \cdot K_v \text{ (м/хв)}, \quad (30)$$

де C_v – коефіцієнт, який залежить від матеріалу різця; x , y і m – показники степеня, визначаються по довіднику; K_v – коефіцієнт, який враховує якість матеріалу, стан поверхні та якість матеріалу інструменту.

$$K_v = K_{\mu V} \cdot K_{nV} \cdot K_{uV}, \quad (31)$$

де $K_{\mu V}$ – якість матеріалу; K_{nV} – стан поверхні; K_{uV} – якість матеріалу інструменту; T – період стійкості різця в хв (для твердосплавного різця $T = 90$ хв).

Швидкість може бути визначена по таблицях з урахуванням всіх поправочних коефіцієнтів.

По отриманій швидкості різання визначають розрахункову частоту обертання шпинделя верстату:



$$n_p = \frac{1000 \cdot V_{\text{доп}}}{\pi \cdot D}, (\text{об/хв}), \quad (32)$$

де D – найбільший діаметр заготовки (мм).

По розрахунковій частоті обертання n_p визначають найближчу меншу або рівну частоту обертання шпинделя по паспорту верстату (фактична частота обертання):

$$n_{\phi} = n_{\text{пасп}} \leq n_p. \quad (33)$$

По фактичній частоті обертання розраховується дійсна швидкість різання:

$$V_{\text{дійсн}} = \pi D n_{\phi} / 1000, (\text{м/хв}). \quad (34)$$

Розраховується сила різання:

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot S_0^y \cdot V^n. \quad (35)$$

По силі різання розраховується потужність:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_{\text{дійсн}}}{60 \cdot 10^3}. \quad (36)$$

Вибраний режим різання перевіряється по потужності двигуна. Потужність, яка затрачується на різання, повинна бути менша або рівна потужності на шпинделі:

$$N_e \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta, \quad (37)$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність електродвигуна, η – коефіцієнт корисної дії верстату (0,7...0,8).

Коли розрахункова потужність різання більша потужності на шпинделі, то один із елементів режиму різання (глибина, подача, швидкість) повинна бути зменшена. Методика вибору режимів різання закінчується розрахунком штучного та основного часу.

Штучний (машинний) час – це час на проведення однієї опе-



рації над однією заготовкою.

$$T_{um} = T_o + T_d + T_{обс} + T_{від}, \quad (38)$$

де T_o – основний технологічний час (хв); T_d – допоміжний час (хв); $T_{обс}$ – час на обслуговування робочого місця (хв); $T_{від}$ – час перерв на відпочинок і особисті потреби (хв).

Основний технологічний час – це час в процесі якого проходить знімання стружки.

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \quad (39)$$

де L – розрахункова довжина на поверхні, яка обробляється і яка складається із довжини, яку необхідно обробити l , довжини врізання різця l_1 , і довжини перебігу різця l_2 :

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (40)$$

n – число обертів заготовки; S – подача (мм/об); i – число проходів.

Кількість проходів залежить від припуску на механічну обробку, і якщо допустити, що кожний прохід проходить з однаковою глибиною, то:

$$i = \frac{Z}{t}, \quad (41)$$

де Z – припуск на обробку (мм), t – глибина різання (мм).

Підставивши в формулу основного технологічного часу в раз для числа проходів, отримаємо:

$$T_o = \frac{L \cdot Z}{n \cdot t \cdot S}. \quad (42)$$

Число обертів деталі визначається за залежністю:



$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (43)$$

Тоді основний технологічний час:

$$T_o = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot z}{1000 \cdot t \cdot S \cdot V}, \text{ (хв)}. \quad (44)$$

Зменшення основного технологічного часу приводить до збільшення продуктивності праці. З формули видно, що T_o можна зменшити, з однієї сторони, за рахунок зменшення L і z , а з другої – за рахунок збільшення t , S , $n(V)$. Величина L залежить від розмірів поверхні, яка обробляється. При одноінструментній обробці зменшення L можливе лише за рахунок зменшення величини врізання та величини виходу різального інструменту. Великий вплив на зменшення L дає багатоінструментна обробка, коли використовується одночасно декілька різців, довжина L в цьому випадку розбивається на декілька відрізків розміром L/k (k – кількість різців). Чим менше припуск на механічну обробку (z), тим ближче заготовка по своїй формі та розмірам до розмірів деталі, тим менше металу буде переведено в стружку, тим більше умов для зрізання припуску за один прохід, тим менше буде затрачено часу на виготовлення деталі та нижче її собівартість.

Допоміжний час – це час на установку, закріплення та знімання заготовки і готової деталі, на пуск і зупинку верстату, на зміну числа обертів шпинделя і величини подачі тощо.

Час на обслуговування робочого місця – час на догляд за робочим місцем при виконанні даної роботи. Сюди входить час на наладку та регулювання верстату в процесі роботи, час на правку інструменту, на його заміну тощо.

При виконанні фізично тяжких і втомлюючих робіт передбачається і час на відпочинок і особисті потреби.

Допоміжний час, час обслуговування робочого місця, час перерв на відпочинок і особисті потреби дається в відсотках від основного технологічного часу.



6. Фрезерування – як один із методів обробки металів різанням

6.1. Типи фрезерних верстатів. 6.2. Типи фрез і основні види фрезерних робіт. 6.3. Елементи будови та елементи різальної частини фрези. 6.4. Пристрої та обладнання фрезерних верстатів. 6.5. Ділильна головка. Просте, безпосереднє та диференціальне ділення. 6.6. Схеми фрезерування. 6.7. Елементи режиму різання. 6.8. Сили, крутний момент і потужність. 6.9. Вибір діаметра фрези. 6.10. Методика вибору режимів різання. Основний технологічний час.

Фрезерування – це процес обробки металів різанням, при якому різальний інструмент (фреза) виконує головний рух обертання (D_r) навколо своєї осі, а рух подачі (D_s) виконує заготовка. Фреза – це різальний інструмент у вигляді тіла обертання, на поверхні якого розміщені різальні зуби. При фрезеруванні кожен зуб фрези знаходиться в контакті з заготовкою лише малий проміжок часу, більшість часу він проходить по повітрі, тим самим охолоджуючись. Тому стійкість фрез набагато більша від стійкості токарних різців, в яких різальна кромка під час точіння знаходиться в контакті з заготовкою постійно. Фрезерування один із найбільш продуктивних методів обробки металів різанням.

6.1. Типи фрезерних верстатів

В залежності від виду обробки заготовки, а також умов виробництва розрізняють фрезерні верстати загального призначення та спеціалізовані. До верстатів загального призначення відносяться: горизонтально-фрезерний, вертикально-фрезерний, безконсольно-фрезерний, поздовжньо-фрезерний, двох-стійковий фрезерний і карусельно-фрезерний.

До верстатів спеціалізованого призначення відносяться: копірально-фрезерні, шліце- і шпонко-фрезерні, барабанні фрезерні, фрезерні верстати з ЧПК.



Найбільш поширеними типами фрезерної групи є 8 і 1 тип, які мають в позначенні цифри 8 і 1 (6Н81; 6М82; 6В11; 6Н12).

Горизонтально фрезерний верстат використовується для фрезерування відносно невеликих заготовок в одиничному та мало-серійному виробництві і дозволяє обробляти горизонтальні, вертикальні і фасонні поверхні, уступи, пази тощо.

Загальний вигляд горизонтально-фрезерного верстату наведено на рис. 82.

Вісь шпинделя такого верстату горизонтальна і на рухомій консолі 1 розміщені салазки 2 і стіл 3. Стіл на якому закріплюють заготовку має поздовжнє переміщення по направляючих салазок. Салазки переміщуються разом з столом в поперечному напрямку по направляючих консолі, яка, в свою чергу, переміщується по направляючих станини 4. Таким чином, заготовка може переміщатися в трьох взаємно-перпендикулярних напрямках. Коробка подач змонтована в консолі. Коробка швидкостей 5 змонтована в станині 6, яка кріпиться на фундаментній плиті 7. Коробка швидкостей отримує рух від електродвигуна 8. На шпинделі 9 закріплюється оправка 10, яка другим кінцем спирається на підшипник підвіски 11. Підвіска приєднана до хобота 12 верстату. Переміщення консолі виконується за рахунок гвинта вертикального переміщення 13. Хобот 12 підтримується двома кронштейнами 14, нижні кінці яких зв'язані з консоллю.

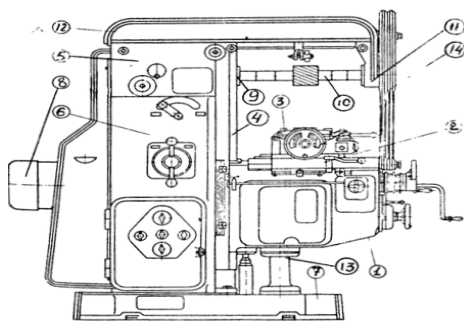


Рис. 82. Загальний вигляд горизонтально-фрезерного верстату



Потужність двигуна 7 кВт; шпindel має 18 швидкостей (від 30 до 1500 об/хв). Стіл верстату має 18 поздовжніх і поперечних подач (від 23,5 до 1180 мм/хв, а вертикальних у межах 8...390 мм/хв).

Вертикально-фрезерувальний верстат 6Н12 (рис. 83) застосовується для фрезерування поверхонь заготовок середнього розміру та маси в умовах одиночного і серійного виробництва торцевими, кінцевими (пальчиковими) фрезами.

На фундаментній плиті 1 встановлена станина 2, в верхній частині якої знаходиться шпindelна головка 3 з вертикальною віссю обертання шпинделя. Шпindel отримує рух від електродвигуна 11 через коробку швидкостей 4. Консоль 5 встановлена на вертикальних направляючих 6 станини та переміщується по них. По направляючих консолі 7 переміщуються поперечні салазки 8, а по останнім стіл 9. В середині консолі розміщена коробка подач 10.

Електродвигун головного руху має потужність 10 кВт. Коробка швидкостей дозволяє отримати 18 швидкостей (від 630 до 3150 об/хв). Коробка подач забезпечує 18 поздовжніх подач (від 40 до 2000 мм/хв), поперечних – від 27 до 1330 мм/хв і вертикальних – від 13 до 665 мм/хв. Верстат має прискорене переміщення столу. Потужність електродвигуна приводу подач 1,7 кВт.

На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні та похилі площини, фасонні поверхні, фрезерують пази, шпонкові канавки, зуби прямокутних гвинтових циліндричних зубчатих коліс, нарізають різьбу, підрізають пази (рис. 84, 85).

На рис. 84 наведені схеми обробки поверхонь заготовок на горизонтально-фрезерних верстатах: а – циліндрична фреза шириною 120 мм; б – дискова для горизонтальних площин; в – кінцева для обробки горизонтальних площин; г – торцева для вертикальних площин; д – кінцева одностороння для вертикальних площин; е – дискова для обробки плоских вертикальних поверхонь; ж – кінцева двохстороння для горизонтальних та вертикальних поверхонь; з – дискова двохстороння фреза; і – кінцева трьохстороння фреза; к – дискова трьохстороння для пазів, л – кутова для похилих поверхонь; м – кутова двохстороння



фреза для пазів і уступів; н – фасонна; о – комбінована для обробки комбінованих поверхонь; п – дискова модульна.

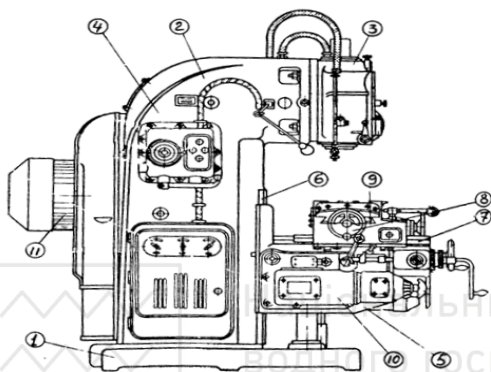


Рис. 83. Вертикально-фрезерний верстат

На рис. 85 наведені схеми обробки поверхонь заготовок на вертикально-фрезерних верстатах: а – торцева фреза; б – кінцева для горизонтальних площин; в – кінцева для вертикальних площин; г – торцева; д – кінцева для обробки скосів похилих поверхонь; е – кінцева для обробки уступів; ж – кінцева; з – дискова; і – пальчикова модульна; к – торцева двохстороння; л – кінцева однокутова для обробки пазів тилу ластівчин хвіст.

6.2. Типи фрез і основні види фрезерних робіт

Виготовляють фрези суцільними та з вставними зубами (ножами). Суцільні фрези, як правило, виготовляють із швидкорізальної сталі. Фрези з вставними зубами виготовляють із швидкокорізальної сталі, або оснащують пластинками із твердих сплавів, при цьому корпус виготовляють із конструкційної сталі (сталь 45, сталь 45Х, сталь 50Х). Типи фрез наведені на рис. 86.

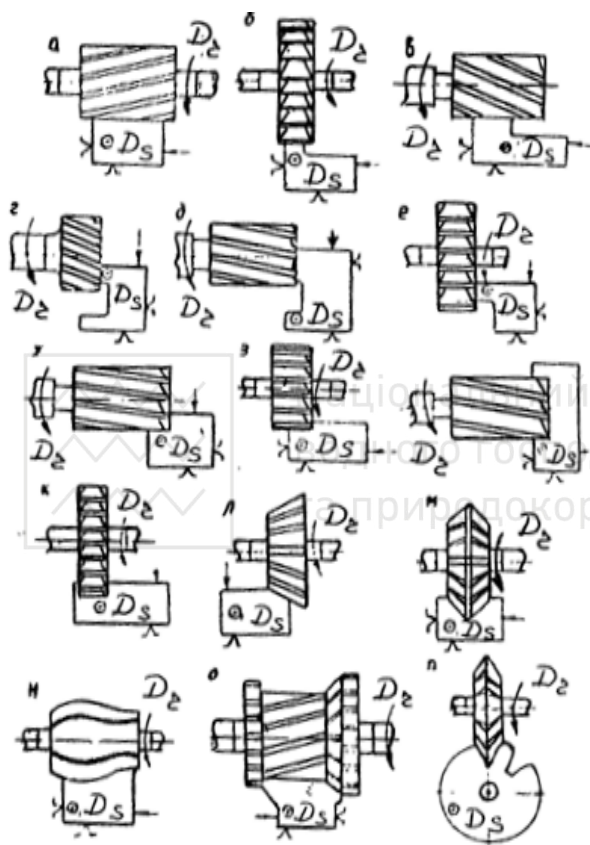


Рис. 84. Схеми обробки заготовок на горизонтально-фрезерних верстатах

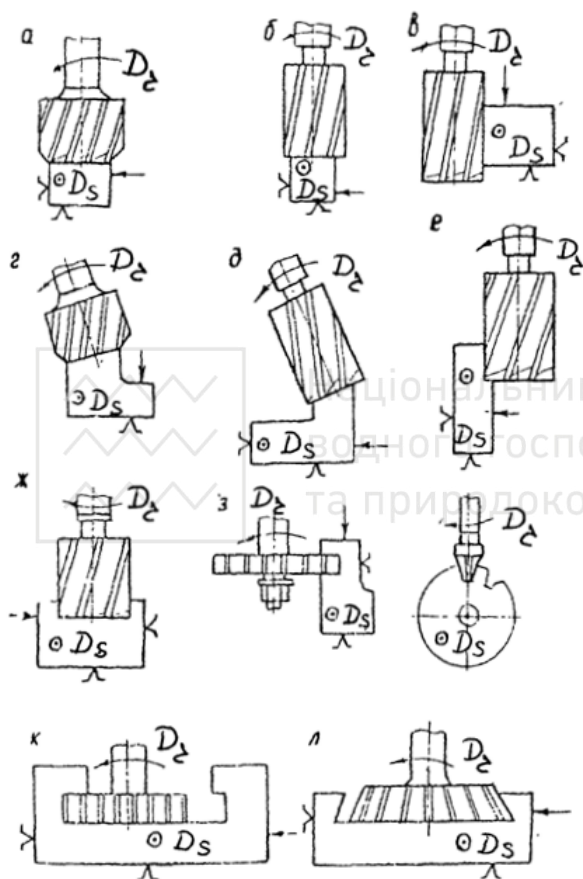


Рис. 85. Схеми обробки поверхонь на вертикально-фрезерних верстатах



Циліндрична фреза (рис. 86, а) має зуби тільки на циліндричній поверхні та застосовується для обробки площин (рис. 87, а).

Торцева фреза (рис. 86, б) має зуби як на торцевій так і на бічній поверхні і застосовують їх для обробки як горизонтальних так і вертикальних поверхонь (рис. 87, г). На рис. 86, в наведена торцева фреза з вставними зубами (ножами).

Кінцева (пальчикова, шпонкова) фреза (рис. 86, г) застосовується для обробки пазів площин і фасонних поверхонь (рис. 87, в). Виготовляються ці фрези з циліндричним, конічним і різьбовим хвостовиком.

Кінцева модульна фреза (рис. 86, д) застосовується для нарізання зубчатих коліс великого модуля методом копіювання (рис. 87, д).

Дискові фрези з вставними зубами (рис. 86, ж) застосовуються для фрезерування прямолінійних пазів, канавок і площин (рис. 87, б). Дискові фрези, відрізні, підрізні та шліцьові (рис. 86, е) мають малу товщину для розрізування матеріалів і прорізування вузьких канавок. Зубонарізні дискові фрези (рис. 86, з) застосовуються для нарізання зубчатих коліс методом копіювання.

Півкруглі (фасонні) ввігнуті та випуклі фрези (рис. 86, и, к) застосовуються для обробки деталей з півкруглими поверхнями, а також з криволінійним профілем (рис. 87, е). Контур різальної кромки зуба відповідає профілю обробленої поверхні.

Кутові фрези (рис. 86, л) – це фрези в яких зуби розміщені на конічній поверхні і застосовують їх для прорізування канавок кутового профілю (рис. 87, ж), головним чином при виготовленні фрез, зенкерів, розверток тощо.

Фрези для нарізання Т-подібних пазів і канавок (рис. 86, м). Можуть бути використані і фрези типу ластівчин хвіст. Т-подібні фрези, також, застосовуються для нарізання канавок під сегментні шпонки.

Черв'ячні фрези (рис. 86, н) застосовуються для нарізання зубчатих коліс, зірочок, шліців, різьби методом обкатування.

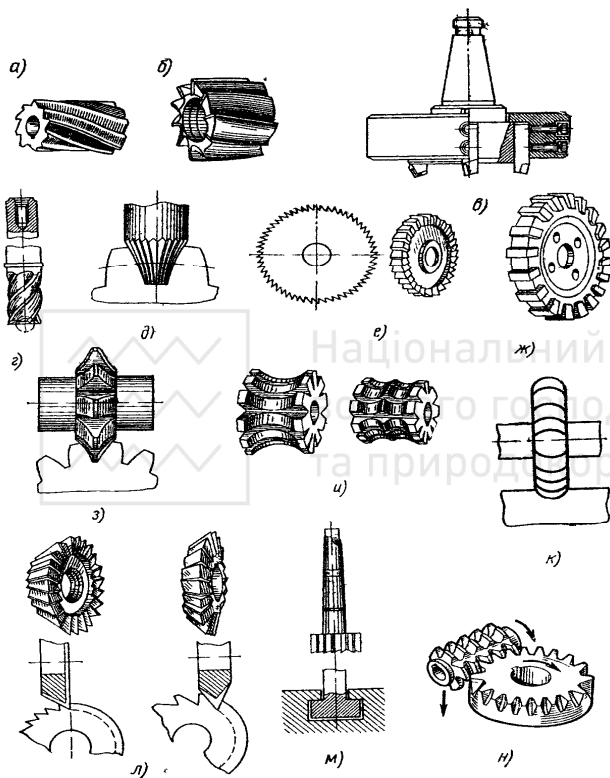


Рис. 86. Типи фрез:

а – циліндрична фреза; б – торцева; в – торцева з вставними зубами;
г – кінцева; д – кінцева-модульна; е – дискова; ж – дискова з вставни-
ми зубами; з – зубонарізна дискова; и – півкругла-ввігнута; к – півкруг-
ла-вишукла; л – кутова; м – Т-подібна; н – черв'ячна

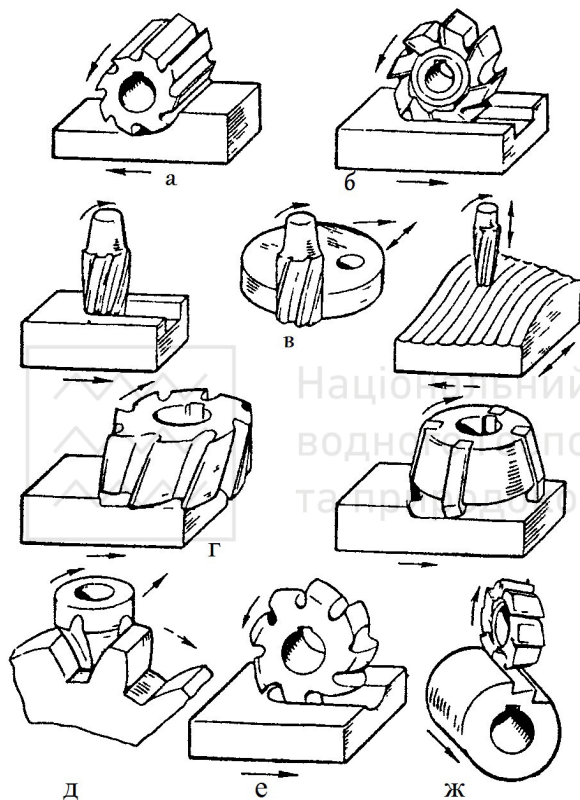


Рис. 87. Види фрезерних робіт:

а – обробка площин; б – фрезерування прямолінійних пазів, канавок;
в – обробка пазів площин і фасонних поверхонь; г – обробка
горизонтальних площин торцевою фрезою; д – нарізання зубчатих
коліс; е – обробка деталей півкруглим профілем; ж – прорізування
канавок кутового профілю



6.3. Елементи будови та елементи різальної частини фрези

Розглянемо елементи будови на принципі циліндричної фрези (рис. 88). До елементів будови фрези відносяться: D – діаметр фрези ($D = 50 \dots 125$ мм); L – довжина активної поверхні фрези; l – конструктивна довжина фрези. Присіднувальні розміри: b – ширина пазу шпонки, d – діаметр під оправку; t – глибина пазу під шпонку. До елементів будови відноситься число зубів (ножів, $z = 8 \dots 16$). Кожний зуб фрези (рис. 88) має передню 1, задню поверхню 2 і різальну кромку 3.

Елементи різальної частини фрези наведені в двох перерізах: А–А; В–В (рис. 89). Кут нахилу зубів до осі фрези ($\omega = 24 \dots 36^\circ$). Кути різання фрези обумовлені двома площинами. Площина різання (А–А) перпендикулярна до головної різальної кромки фрези, яка проходить через дану точку.

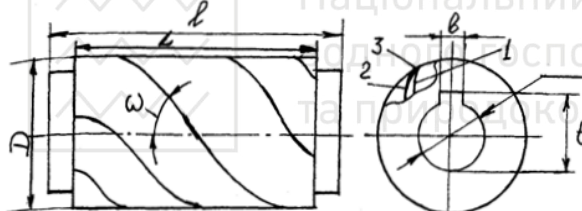


Рис. 88. Елементи будови циліндричної фрези

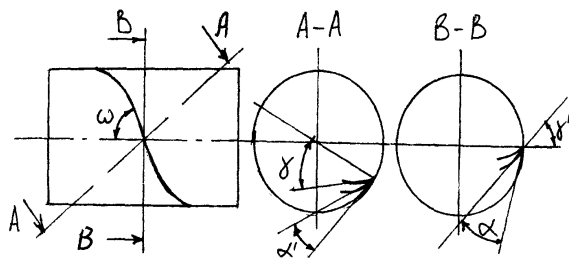


Рис. 89. Елементи різальної частини фрези



Перпендикулярна площина – площина, яка перпендикулярна до осі обертання фрези і яка проходить через дану точку. Кожна із площин обумовлює головні кути різання фрези.

Площина різання (А–А) обумовлює головний передній кут γ , який для фрез із швидкорізальних сталей дорівнює $10...20^\circ$. У торцевих і дискових фрез з пластинами твердих сплавів кут $\gamma = 5...10^\circ$. Від'ємне значення використовується при фрезеруванні конструктивних і легованих сталей. Іноді передні кути задають в площині, нормальній до осі фрези. Для переходу від кута γ до γ' застосовують наступну формулу:

$$\operatorname{tg} \gamma' = \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \omega. \quad (1)$$

Головний задній кут α задається в площині, яка нормальна до осі фрези (В–В). Він заключається між дотичною до задньої поверхні зуба фрези в точці головної різальної кромки та дотичною до кола обертання даної точки. Іноді цей кут може задаватись в нормальному перерізі до головної різальної кромки (кут α' в перерізі А–А). Для циліндричної фрези:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \omega. \quad (2)$$

У фрез із швидкорізальної сталі величина головного заднього кута знаходиться в діапазоні $12...30^\circ$ (в залежності від типу фрези). У торцевих фрез з твердосплавними пластинками $\alpha' = 6...15^\circ$, у дискових фрез $\alpha' = 20...25^\circ$ при обробці сталей і $\alpha' = 10...15^\circ$ при обробці чавунів.

6.4. Пристрої та обладнання фрезерних верстатів

Для установки і закріплення заготовок на фрезерному верстаті застосовуються прихвати, кутові плити, призми та машинні лещата.

Прихвати застосовуються для закріплення заготовок складної форми, або великих габаритних розмірів на столі верстату. На рис. 90 показані різні типи прихватів: плиточні (а), вилкоподібні (б), коритоподібні (в), вигнуті універсальні (г). Всі



прихвати мають овальні отвори для переміщення прихвата відносно заготовки, яка обробляється.

На рис. 91 показано закріплення заготовки на столі верстату плиточним вигнутим універсальним прихватом, який одним кінцем опирається на заготовку, а другим – на стіл. При цьому головка болта заводиться в Т-подібний паз столу через отвір прихвату. Закручуючи ключем гайку, тим самим притискають прихват до заготовки та закріплюють її.

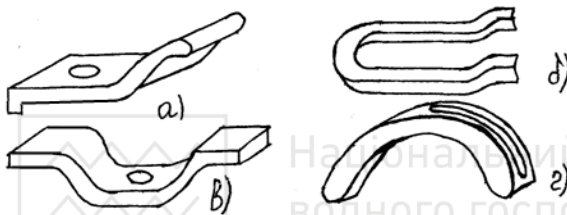


Рис. 90. Типи прихватів: а – плиточні; б – вилоподібні;
в – коритоподібні; з – вигнуті універсальні

Кутові плити застосовують для установки та кріплення заготовок, які мають дві площини і які розміщені під кутом 90° (рис. 92, а). На рис. 92, б показана універсальна кутова плита, яка допускає поворот закріпленої заготовки в двох площинах: горизонтальній – рукояткою 1 і вертикальною – поворотом колодки 4, яка закріплюється болтами 5. Плита є поворотний стіл 3 з трьома Т-подібними пазами. Кут повороту столу відраховується по шкалі 2.

Фрезерування шпонкових пазів і лисок в валах виконується при кріпленні останніх в призмах (рис. 93). Для коротких заготовок достатньо однієї призми. При великій довжині вала 2 заготовку закріплюють на двох призмах

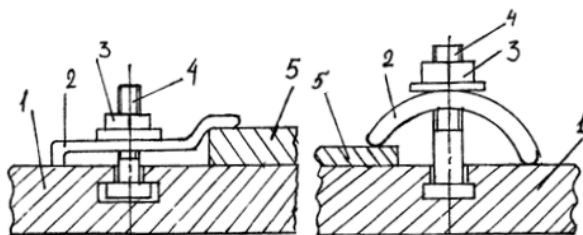


Рис. 91. Закріплення заготовки на столі верстату за допомогою прихвату: 1 – стіл; 2 – прихват; 3 – гайка; 4 – болт; 5 – заготовка

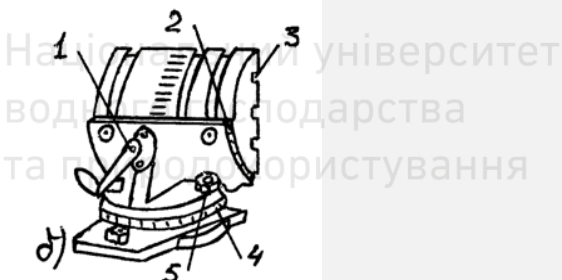
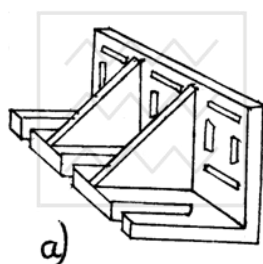


Рис. 92. Кутові плити :

а – звичайна кутова плита; б – універсальна кутова плита

Правильність закріплення призми на столі верстату забезпечується шипом 4 в основі призми, який входить в паз 5 столу. Вали закріплюють універсальними прихватами 1. Для запобігання прогинання валу при закріпленні необхідно щоб прихвати спірались на вал над призмами. Під прихвати кладеться мідна чи латунна прокладка для запобігання пошкодження обробленої циліндричної поверхні. Машинні лещата по конструкції поділяють на прості, поворотні та універсальні (рис. 94).

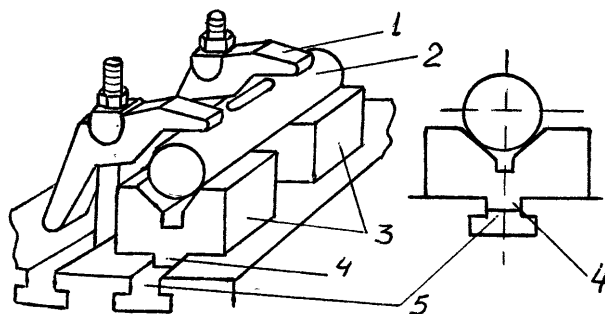


Рис. 93. Закріплення вала на призмах

Поворотні лещата (рис. 94, б) відрізняються від звичайних (рис 94, а) тим, що верхня частина лещат разом із заготовкою може бути повернута на необхідний кут,

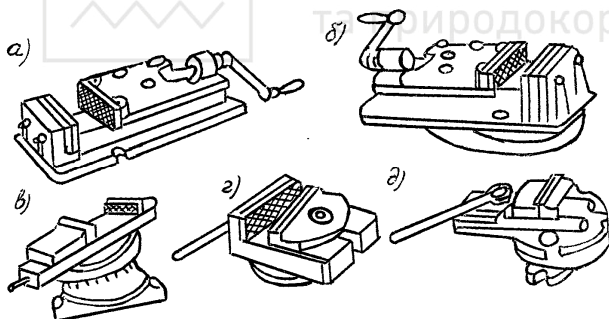


Рис. 94. Типи машинних лещат

Універсальні лещата (рис. 94, в) можуть повертатись не тільки в горизонтальній, але і в вертикальній площині, їх застосовують при фрезеруванні площин, які розміщені під кутом до горизонтальної площини. Застосовують також лещата, у яких ру-



хома губка може повертатись навколо вертикальної осі (рис. 94, г). Такі лещата можна застосовувати без застосовування спеціальних підкладок при обробці з похилими опорними поверхнями. Лещата з ексцентриковим затисканням (рис. 94, д) застосовують для швидкого та надійного закріплення невеликих заготовок.

6.5. Ділильна головка. Просте, безпосереднє та диференційне ділення

Ділильні головки служать для періодичного повороту заготовки навколо власної осі при її поділі на рівні або нерівні частини. Застосовуються ділильні головки при нарізанні зубчатих коліс, фрезерування багатогранників, нарізанні спіральних каналів.

Кінематична схема ділильної головки наведена на рис. 95. Основними частинами ділильної головки є корпус, поворотна частина 1, шпindel 2 з центром 3, ділильний диск 4, рукоят 5 і фіксатор 6. На шпindel кріпиться кулачковий чи повідковий патрон. Поворот заготовки 7 здійснюється обертанням рукояті 5, яка закріплена на валу 8. На останньому закріплений черв'як 9, через який рух передається черв'ячному колесу 10, шпindelю 2 і оправці 11 із заготовкою 7. Для фіксації рукояті 5 у необхідному положенні служить фіксатор 6, який може входити в будь-який отвір ділильного диску 4.

На універсальній ділильній головці можна виконувати просте та диференційне ділення.

Просте ділення

Для призначення числа обертів n рукояті 5, потрібних для повороту шпинделя 2 на $1/Z$ частину кола служить формула:

$$n = \frac{N}{Z} = A + \frac{a}{b} = A + \frac{am}{bm}, \quad (3)$$

де N – характеристика ділильної головки. Вона характеризує число обертів рукояті, яке забезпечує один повний оберт шпин-

дея і призначається передаточним відношенням черв'ячної пари:

$$N = \frac{Z}{k} = \frac{40}{1} = 40, \quad (4)$$

де A – ціле число обертів рукояті; a/b – правильний простий нескоротний дріб; m – множник, вибраний так, щоб добуток bm дорівнював одному із чисел отворів, яке є на дільному диску; at – число поділок, на яке треба повернути рукоять по колу, де є bm отворів.

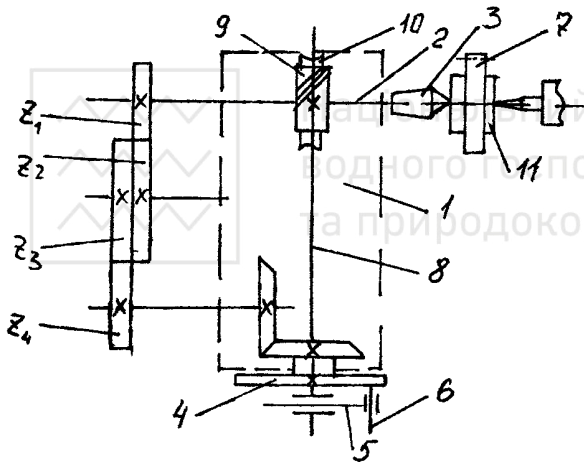


Рис. 95. Кінематична схема універсальної ділильної головки

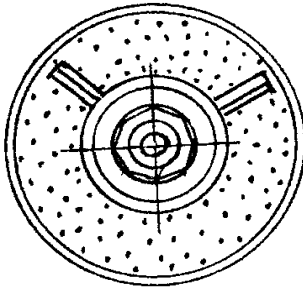


Рис. 96. Поворотний сектор

Число отворів на ділільних дисках головок УДГ-135 і УДГ-160: перша сторона – 24; 25; 28; 30; 34; 37; 39; 41; 42; 43; друга сторона – 46; 47; 49; 51; 53; 54; 57; 58; 59; 62; 66.

Для зручності відліку поділок по ділільному диску служить поворотний сектор (рис. 96), розсувні планки якого встановлюються так, щоб число потрібних поділок *at* було в проміжку між планками.

Безпосереднє ділення

Безпосереднє ділення виконується за формулою:

$$n = 360^\circ / z, \quad (5)$$

де 360° – градуси на ділільному диску, z – число зубів.

Диференційне ділення

Даний метод застосовується тоді, коли через відсутність потрібного числа отворів на ділільному диску просте ділення здійснити неможливо. Сутність методу полягає в тому, що необхідний поворот заготовки виконується як результат двох рухів: 1 – обертання рукояті відносно ділільного диску; 2 – додаткове обертання ділільного диска, яке здійснюється через змінні зубчаті колеса з передаточним відношенням $I_{зм} = Z_1/Z_2 \cdot Z_3/Z_4$ та постійну кінцеву зубчасту передачу.

Для визначення числа обертів рукояті використовується фо-



рмула простого ділення:

$$n = \frac{N}{Z_{\text{наб}}}, \quad (6)$$

де $Z_{\text{наб}}$ – значення кількості зубів, яке можна поділити методом простого ділення. Значення $Z_{\text{наб}}$ необхідно вибирати як можна ближче до заданого числа зубів. При одному повороті рукояті шпіндель повертається на $1/Z_{\text{наб}}$ замість необхідного $1/Z$. Помилку $(1/Z - 1/Z_{\text{наб}})$ необхідно компенсувати поворотом дільного диска, яке здійснюється за допомогою змінних коліс $Z_1; Z_2; Z_3; Z_4$.

Їх передаточне відношення дорівнює:

$$i_{\text{зм}} = (N / Z_{\text{наб}}) \cdot (Z_{\text{наб}} - Z). \quad (7)$$

При $Z_{\text{наб}} < Z$ значення $i_{\text{зм}}$ від’ємне і дільний диск повинен обертатись у напрямі, протилежному обертанню рукояті. Це досягається введенням проміжного зубчатого колеса. При $Z_{\text{наб}} > Z$ дільний диск повертається в тому ж напрямі як і рукоять. Проміжне зубчате колесо не потрібне.

Приклад. Необхідно нарізати зубчате колесо із $Z=97$, характеристика головки $N=40$. Відношення $40/97$ є нескоротним дробом, тому необхідне диференційне ділення.

Приймаємо $Z_{\text{наб}} = 100$, тоді число обертів рукояті:

$$n = \frac{V}{Z_{\text{наб}}} = \frac{40}{100} = \frac{2}{5} = \frac{2}{5} \cdot \frac{5}{5} = \frac{10}{25}.$$

Необхідно набрати 10 отворів на 25 колі.

Визначаємо $i_{\text{зм}}$:

$$i_{\text{зм}} = \frac{V}{Z_{\text{наб}}} \cdot (Z_{\text{наб}} - Z) = \frac{40}{100} \cdot (100 - 97) = \frac{6}{5}.$$

Із набору змінних коліс підбираємо такі, щоб їх передаточне відношення було рівне $6/5$. Це досягається при таких парах зубчатих коліс: $30/25$ або $60/50$ або $90/75$.



Оскільки $Z_{наб} > Z$, то потреби у проміжному зубчатому колесі немає.

6.6. Схеми фрезерування

Залежно від напрямку обертання фрези та напрямку подачі розрізняють зустрічне фрезерування (коли заготовка, яка обертається, подається назустріч обертанню фрези) і попутне (коли напрям обертання фрези та напрям подачі збігається). При зустрічному фрезеруванні товщина шару металу, що зрізується зубом фрези змінюється від 0 до a_{max} (рис. 97). Поступове збільшення товщини зрізувального шару сприяє плавній роботі фрези. Проте перш ніж врізатися в метал, що обробляється, зуб фрези внаслідок округлення різальної кромки деякий час ковзає по поверхні різання, зміцненій внаслідок пластичних деформацій під час різання попереднім зубом. Це приводить до значного спрацювання зубів фрези. Сили, які виникають при фрезеруванні цим методом, намагаються відірвати заготовку від столу, що може привести до вібрацій і погіршення чистоти поверхні.

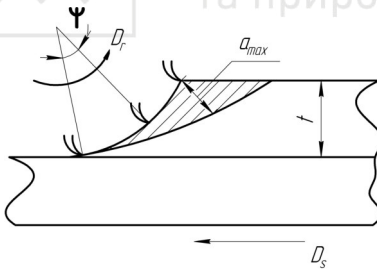


Рис. 97. Зустрічне фрезерування

При попутному фрезеруванні в момент врізання зуба відбувається удар, оскільки знімається шар найбільшої товщини a_{max} , який поступово зменшується до 0 (рис. 98). Зменшення товщини шару, який зрізається і те, що сила різання намагається притиснути заготовку, що обробляється, до столу верстату, сприяє під-



вищенню чистоти та точності обробленої поверхні. Потужність, яка затрачується при попутному фрезеруванні та спрацювання фрези менші, ніж при зустрічному. Проте попутне фрезерування може застосовуватись лише у верстатах, у яких між гвинтом, що подає стіл, і гайкою немає осьового зазору, або є спеціальний пристрій, що його усуває.

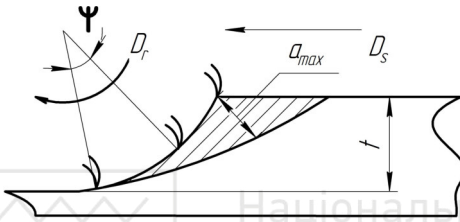


Рис. 98. Попутне фрезерування

Зустрічне фрезерування доцільно використовувати при чорновій обробці, особливо заготовок з кіркою або окалиною, попутне при напівчистовій і чистовій обробці, коли вже знято кірку та потрібна висока чистота обробленої поверхні.

6.7. Елементи режиму різання. Площа поперечного перерізу, продуктивність

До елементів режиму різання при фрезеруванні відносяться: глибина різання, подача, швидкість різання та ширина фрезерування.

Глибина різання t (мм), виміряна перпендикулярно до обробленої поверхні та рівна товщині шару металу, який знімається за один прохід (рис. 97, 98). Глибина зв'язана з чистотою обробленої поверхні та припуском на механічну обробку. Чим менша глибина різання, тим вища чистота обробленої поверхні.

Подача – це поступальне або обертальне переміщення деталі, яка обертається відносно осі фрези. При фрезеруванні розрізняють такі подачі:



1. Подача на один зуб фрези – переміщення заготовки при повертанні фрези на кут між двома сусідніми зубами, S_z (мм/зуб);

2. Подача на один оберт фрези, S_o (мм/оберт). Зв'язок між подачею на один зуб і на один оберт наступний:

$$S_o = S_z \cdot z, \quad (8)$$

де z – число зубів фрези;

3. Подача за одну хвилину S_{xv} (мм/хв). Зв'язок між перерахованими вище подачами наступний:

$$S_{xv} = S_o n = S_z z n, \quad (9)$$

де n – число обертів за хвилину.

Вихідною величиною при чорновому фрезеруванні є подача на один зуб (S_z), при чистовому фрезеруванні – на один оберт фрези (S_o), по якій потім вираховують величину на один зуб $S_z = S_o / Z$.

Рекомендовані подачі для різних фрез і умов різання наведені в таблицях лабораторного практикуму по різанню [1].

Швидкість різання – це колова швидкість найбільш віддаленої від осі обертання точки різальної кромки фрези V (м/хв):

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (10)$$

де D – діаметр заготовки, n – число обертів фрези за хвилину.

Ширина фрезерування – це довжина поверхні контакту фрези з оброблюваною заготовкою, яка виміряна в напрямку перпендикулярному до напрямку подачі, b (мм).

Площа поперечного зрізу

Маючи ширину фрезерування можна порахувати площу поперечного зрізу при фрезеруванні циліндричною прямозубою фрезою. Для одного зуба:

$$f = a \cdot b, \text{ (мм}^2\text{)}, \quad (11)$$



де a – товщина зрізу в мм.

Товщина шару матеріалу, яка знімається одним зубом прямозубої циліндричної фрези, змінюється від 0 до a_{max} , або від a_{max} до 0, то площа поперечного зрізу шару та навантаження на фрезу періодично змінюється. Найбільше значення при зустрічному фрезеруванні товщина зрізу досягає при виході фрези з заготовки, яка обробляється (рис. 99).

Розглянемо трикутники ABC і CDE. Ці трикутники подібні, тому:

$$\sin \psi = a_{max} / S_z \quad (12)$$

Отже,

$$a_{max} = S_z \sin \psi, \quad (13)$$

де ψ – кут контакту фрези з деталлю (центральный кут), який рівний дузі контакту фрези з заготовкою.

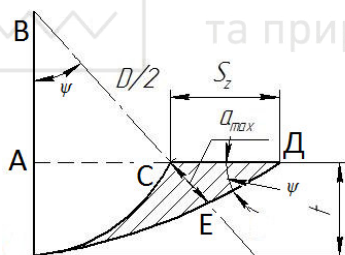


Рис. 99. Найбільше значення товщини зрізу

Цей кут можна визначити через діаметр фрези та глибину різання:

$$\cos \psi = \frac{(D/2) - t}{D/2} = 1 - \frac{2t}{D}. \quad (14)$$

Але в процесі різання приймають участь одночасно n зубів.



Тому площа поперечного перерізу при n – одночасно працюючих зубів фрези рівна (мм²):

$$F = B \cdot S_z \cdot \sum \sin \Psi_i = B \cdot S_z (\sin \Psi_1 + \sin \Psi_2 + \dots + \sin \Psi_n), \quad (15)$$

де $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n$ – поточні кути контактів зубів фрези з заготовкою, яка обробляється.

Для підрахунку продуктивності ці кути не враховуються. Продуктивність розраховується по такій залежності:

$$Q = \frac{B \cdot t \cdot S_{xe}}{1000} \cdot 60, \text{ (см}^3/\text{год)}. \quad (16)$$

При цьому в формулу підставляється хвилинна подача (S_{xe}). При фрезеруванні циліндричною прямозубою фрезою, площа поперечного зрізу – величина перемінна (періодично змінюється в процесі фрезерування), так як в кожний окремий момент часу в роботі знаходиться неоднакове число зубів. Тому сила, момент і потужність різання періодично змінюється. Чим більша кількість зубів знаходиться одночасно в роботі, тим більш спокійно протікає процес фрезерування. Тому фрези з гвинтовими зубами забезпечують плавну роботу, оскільки врізання зубів і вихід їх з контакту відбувається неодноразово по всій ширині, а поступово. Тому ці фрези набули значного поширення.

6.8. Сили, крутний момент і потужність

При фрезеруванні прямозубою дисковою фрезою на кожен зуб фрези діє сила, яка може бути розкладена на тангенціальну силу (сила, яка направлена по дотичній до траєкторії руху різальної кромки зуба (P_{z1}, P_{z2}, P_{z3})) і радіальну силу, яка направлена по радіусу до центра фрези (P_{y1}, P_{y2}, P_{y3})) і діють на підшипники шпинделя верстату (рис. 100). Тангенціальні сили створюють крутний момент на шпинделі верстату та скручують оправку.

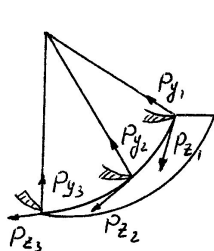


Рис. 100. Сили, які діють на зуб
дискової фрези і їх векторне
складання

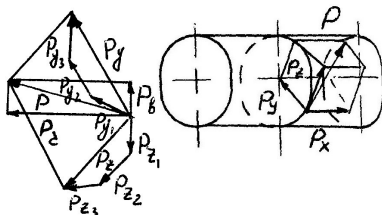


Рис. 101. Сили, які діють
на гвинтовий зуб
фрези

Складаючи графічно сили, отримуємо сумарну P_y і сумарну P_z . Рівнодійну сил P_y і P_z позначимо P . Сила P може бути розкладена на горизонтальну складову P_r і вертикальну P_0 , при цьому горизонтальна сила сприймається механізмом подачі верстату, а вертикальна при зустрічному фрезеруванні намагається відірвати заготовку, що обробляється, від столу верстату. При попутному фрезеруванні, навпаки – вертикальна сила намагається притиснути заготовку, яка обробляється, до столу верстату.

При фрезеруванні фрезою з гвинтовим зубом на кожний зуб фрези діють ще і осьові сили P_{x1} , P_{x2} і P_{xn} , які направлені вздовж осі фрези (рис. 101). Сумарна сила від усіх осьових сил на зубах фрези дорівнює:

$$P_0 = P_{x1} + P_{x2} + \dots + P_{xn}. \quad (17)$$

Причому

$$P_0 = P_z \cdot \tan \omega, \quad (18)$$

де ω – кут нахилу гвинтової канавки фрези відносно осі. Вздовж кожного зуба фрези виникають ще сили тертя, які зменшують величину сили P_0 і тому найбільш точно визначають її за формулою:



$$P_0 = 0,28 P_z \cdot \operatorname{tg} \omega. \quad (19)$$

Осьова сила діє на опорні підшипники шпинделя верстату та намагається зсунути фрезу з оправки. Вона сприймається гайкою оправки і передається на пристрій для закріплення заготовки і елементи механізму поперечної подачі. Між окремими складовими силами має місце взаємозв'язок:

$$P_v \approx 0,4 \cdot P_z. \quad (20)$$

При зустрічному циліндричному фрезеруванні $P_r = (1,0 \dots 1,2) P_z$; $P_B = (0,2 \dots 0,3) P_z$; при попутному циліндричному фрезеруванні $P_r = (0,8 \dots 0,9) P_z$; $P_B = (0,75 \dots 0,80) P_z$.

Головну складову силу різання визначають за емпіричною формулою:

$$P_z = \frac{9,81 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p}{D^q \cdot n^\sigma} \cdot K_p, \text{ (Н)}, \quad (21)$$

де Z – число зубів фрези; n – частота обертання фрези (об/хв). Значення коефіцієнта C_p і показників степеня наведені в таблицях [1]. Коефіцієнт K_p враховує відмінність виробничих умов фрезерування від експериментальних.

Крутний момент і потужність

Крутний момент розраховують за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}, \text{ (Н} \cdot \text{м)}, \quad (22)$$

де D – діаметр фрези.

Потужність розраховують за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \text{ (кВт)}. \quad (23)$$

Існує емпірична формула для розрахунку потужності в зале-



жності від параметрів фрези та елементів режиму різання:

$$N_e = C_N \cdot D^q \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^V \cdot n^m, \quad (24)$$

де C_N – коефіцієнт матеріалу.

Коефіцієнт матеріалу та показники степеня визначаються за таблицями з посібника [1].

6.9. Вибір діаметра фрези

Вибір типу та розмірів фрези залежить від даних конкретних умов обробки (розміри заготовки, яка обробляється, марки матеріалу заготовки, величини припуску на обробку тощо).

Фрези з великим зубом застосовують для чорнової обробки площин, фрези з малим зубом – для напівчистої та чистої обробки. Конфігурація поверхні, яка обробляється, і вид обладнання визначають тип фрези, їх розміри визначаються розмірами оброблюваної поверхні і глибини зрізаного шару. Діаметр фрези для скорочення основного технологічного часу і витрати основного інструментального матеріалу вибирають по можливості найменшої величини, враховуючи при цьому міцність технологічної системи, схему різання, форму та розміри заготовки, що обробляється. Стандартом передбачено, що у торцевих насадних фрез параметри визначаються однозначно, так як кожному діаметру торцевої фрези відповідає визначене значення довжини фрези L , діаметра отвору d і числа зубів z .

Діаметр торцевої фрези вибирають в залежності від ширини фрезерування B :

$$D = (1,25 \dots 1,5) B. \quad (25)$$

Для чорнової обробки вибирають торцеві насадні фрези з вставними ножами чи великими зубами. При чистовій обробці слід брати торцеві насадні фрези з малими зубами.

В усіх випадках потрібно надавати перевагу торцевим фрезам, які оснащені твердими сплавами, так як машинний час обробки в цьому випадку значно скорочується за рахунок збіль-



шення швидкості різання.

При обробці сталених заготовок обов'язковим є їх несиметричне розміщення відносно фрези: для заготовок із конструкційних вуглецевих і легированих сталей – зсув їх в напрямі врізання зуба фрези, чим гарантується початок різання при малій товщині зрізаного шару (рис. 102):

$$C = (0,03 \dots 0,05) D. \quad (26)$$

Для заготовок із жароміцних і корозієстійких сталей – зсув заготовки в бік виходу із різання, чим гарантується вихід зуба із різання з мінімально можливою товщиною зрізаного шару $C_2 = 0$.

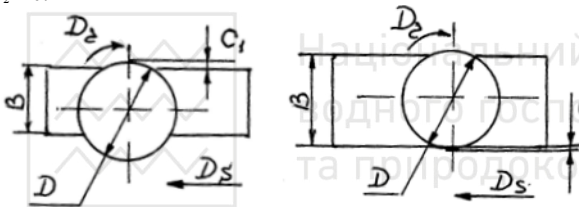


Рис. 102. Несиметричне розміщення сталених заготовок відносно фрези

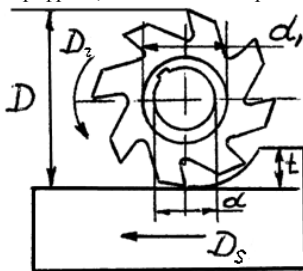
Вибір типу та розмірів дискових фрез

Тип і розмір дискової фрези вибирають в залежності від розмірів оброблюваних поверхонь і матеріалу заготовки. Для заданих умов обробки вибирається тип фрези, матеріал різальної частини та основні розміри – D , B , d і z . Для фрезерування матеріалів, які легко обробляються і матеріалів середньої важкості обробки з великою глибиною фрезерування застосовують фрези з нормальним і великим зубом. При обробці матеріалів, які важко обробляються, і фрезеруванні з невеликою глибиною різання рекомендується застосовувати фрези з нормальними та малими зубами.

Діаметр фрези слід вибирати мінімально можливий, так як



чим менший діаметр фрези, тим вище її жорсткість і вібростійкість. Крім збільшення фрези збільшується її вага. Як видно з рис. 103, при глибшому установочному заготовкою в (6...8) мм повинна бути умо-



в цього, з діаметрається її вага. З рис. бині t і газозорі між кільцем і межах винна бути ва:

$$(D-d_1)/2=t+(6...8). \quad (27)$$

Звідси отримаємо вираз для вибору мінімального діаметра фрези (мм):

$$D = 2t + d_1 + (12...16), \quad (28)$$

де d_1 – діаметр ступиці фрези (установче кільце).

В табл. 6.1 наведена залежність діаметра ступиці фрези d_1 від діаметра отвору для дискових фрез.

Відрізнi фрези з малим і середнім зубом застосовуються для обробки сталі та чавуна, фрези з великим зубом – для обробки алюмінієвих, магнієвих і інших легких сплавів.

Кінцеві фрези виготовляють з нормальними та великими зубами. Фрези з нормальними зубами застосовують при напівчистовій і чистовій обробці уступів і пазів. Фрези з великими зубами застосовують для чорнової обробки заготовок, які отримані литтям, вільним куванням тощо.

Застосування твердосплавних фрез особливо ефективно при обробці пазів і уступів в заготовках із загартованих і важкооброблюваних сталей.



Рис. 103. Вибір діаметра дискової фрези

Таблиця 6.1

Залежність діаметра ступиці фрези від діаметру отвору
дискових фрез

d	d ₁	d	d ₁
13	21	32	48
16	25	40	58
22	35	50	68
27	40		

6.10. Методика вибору режимів різання. Основний технологічний час

Глибину різання t (мм) вибирають в залежності від припуску на обробку. Чорнову та напівчорнову обробку при фрезеруванні, як правило, виконують за один прохід. При припуску, більшому 5мм, фрезерування ведуть в два чи більше проходів, залишаючи на останній прохід припуск 1...1,5 мм.

Після призначення глибини різання вибирається максимально можлива подача на один зуб S_z (мм/зуб). Її величина може бути обмежена такими основними факторами: чистотою оброблюваної поверхні, міцністю зуба фрези, міцністю механізму подачі верстату, оправки тощо. По довіднику [1] вибирають табличну подачу $S_z^{табл}$. Визначають фактичну подачу, вибираючи найближче значення по паспорту верстату, при цьому необхідно



щоб виконувалась така рівність:

$$S_z^{\phi} = S_z^{нач} \leq S_z^{мабл}. \quad (29)$$

При чорновому фрезеруванні сталених заготовок циліндричними фрезами із швидкорізальної сталі приймають подачу на зуб $S_z=0,06...0,6$ мм/зуб, при обробці чавуну $S_z=0,1...0,6$ мм/зуб і при чорновому торцевому фрезеруванні $S_z=0,04...0,6$ мм/зуб.

Допустиму швидкість різання визначають за імперичною формулою:

$$V_{доп} = C_v \cdot D^q \cdot K_v \cdot T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p, \text{ (м/хв)}, \quad (30)$$

де C_v, q, m, x, y, u, p – коефіцієнти та показники степеню які залежать від виду фрези, матеріалу різальної кромки, операції, параметрів зрізуемого шару наведені в посібнику [1]; T – стійкість фрези, в залежності від її виду та діаметра знаходиться в інтервалі 80...400 хв; B – ширина фрезерування; K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, який враховує фактичні умови різання:

$$K_v = K_{lv} \cdot K_{nv} \cdot K_{lv}, \quad (31)$$

де K_{lv} – коефіцієнт, який враховує якість обробляючого матеріалу і знаходиться в межах (0,20... 1,5) в залежності від σ_s і марки сталі; K_{nv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки (без кірки 1,0; прокат 0,9; поковка 0,8; виливка 0,85...0,5; кольорові сплави 0,9); K_{lv} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту та знаходиться в інтервалі від 0,35 до 2,7 (0,35 – сталь конструкційна, 2,7 – ВК6).

Фрези спрацьовуються в основному по задній поверхні зубів. Допустиме спрацювання для циліндричних фрез із швидкорізальної сталі при чорновій обробці 0,4...0,6 мм, при обробці чавуну 0,5...0,8 мм.

Допустиме спрацювання торцевих твердосплавних фрез 1...1,2 мм при обробці сталей, 1,5...2,0 мм при обробці чавуну.



При чистовій обробці за критерій спрацювання приймається таке спрацювання, при якому шорсткість оброблюваної поверхні уже не задовольняє технічним потребам. Стійкість фрези із швидкорізальної сталі становить 300...390 хв, твердосплавних фрез – 400 хв.

По допустимій швидкості різання розраховують частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V_{\text{дон}}}{\pi \cdot D}, (\text{об/хв}). \quad (32)$$

І користуючись паспортом верстату, визначають фактичну частоту обертання, вибираючи найближче менше чи рівне значення по паспорту верстату:

$$n_{\phi} = n_{\text{пасп}} \leq n. \quad (33)$$

Розраховують хвилинну подачу:

$$S_{\text{хв}} = S_z \cdot z \cdot n_{\phi}. \quad (34)$$

Отримане значення порівнюють і визначають фактичну хвилинну подачу:

$$S_{\text{хв}}^{\phi} = S_{\text{хв}}^{\text{пасп}} \leq S_{\text{хв}}. \quad (35)$$

По фактичній частоті обертання фрези розраховують фактичну швидкість різання (м/хв):

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (36)$$

Вибраний режим перевіряють по потужності та крутному моменту:

$$N_e = P_z \cdot V_{\phi} / 1020 \cdot 60, (\text{кВт}), \quad (37)$$



$$N_e \leq N_{\text{дв}} \eta, \quad (38)$$

$$M_{\text{кр}} = P_z \cdot D / 2 \cdot 100, \text{ (Н·м)}, \quad (39)$$

$$M_{\text{кр}} \leq M_{\text{шп}}, \quad (40)$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність двигуна; $\eta = 0,85$ – коефіцієнт корисної дії; $M_{\text{шп}}$ – крутний момент на шпинделі.

Якщо остання нерівність не справджується, то повертаємося на початок розрахунку та зменшуємо один із елементів режиму різання. Після цього розрахунок повторюємо.

Основний технологічний час при фрезеруванні

Основний технологічний час – це час, який іде безпосередньо на знімання стружки і визначається він із залежності:

$$T_o = \frac{L}{S_{\text{хв}}} \cdot i, \quad (41)$$

де L – розрахункова довжина фрезерування (мм); $S_{\text{хв}}$ – хвилинна подача (мм/хв); i – число проходів.

Розрахункова довжина фрезерування включає три складових:

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (42)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні, l_1 – величина врізання фрези, l_2 – величина перебігу (виходу фрези).

При фрезеруванні циліндричними та дисковими фрезами величина врізання та перебігу визначається із залежності (рис. 104):

$$l_2 = l_1 = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - t\right)^2} = \sqrt{t \cdot (D + t)}. \quad (43)$$

При торцевому фрезеруванні величина врізання та перебігу



визначається із залежності (рис. 105). Розглянемо трикутник ABC:

$$AC = \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{B^2}{4}}. \quad (44)$$

Тоді

$$l_1 = \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{B^2}{4}} = \frac{1}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - B^2} \right). \quad (45)$$

Величина врізання та перебігу для фрез знаходиться в інтервалі 2...5 мм.

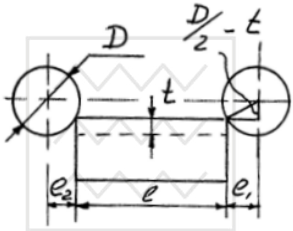


Рис. 104. Фрезерування
циліндричними та
дисковими фрезами

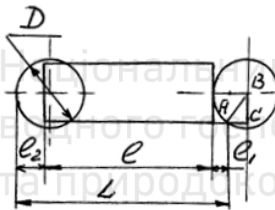


Рис. 105. Фрезерування
торцевими фрезами

7. Обробка отворів на свердлильних і



розточувальних верстатах

7.1. Типи свердлильних верстатів. 7.2. Горизонтально-розточні верстати. 7.3. Утворення та обробка отворів на свердлильних верстатах. 7.4. Типи свердел. 7.5. Будова спірального свердла. 7.6. Зенкери, зенківки, розвертки та інструменти для розточних робіт. 7.7. Елементи процесу різання. Площа зрізу. 7.8. Сили різання, крутний момент і потужність при свердлінні. 7.9. Методика вибору режиму різання при свердлінні, зенкеруванні та розвірчуванні. Основний технологічний час.

Свердління та розточування – це процес обробки металів різанням, при якому різальний інструмент (свердло, зенкер, розвертка, різець) виконує головний рух обертання (D_s) навколо своєї осі, і рух подачі (D_z) також різальний інструмент. В випадку, коли необхідно просвердлити глибокий отвір $L/D > 5$, для запобігання відхилення свердла від осі свердління, подачу – (D_z) надають заготовці. При цьому відхилення осі отвору в бік значно зменшується.

Свердлами формуються поверхні отворів переважно в суцільному металі заготовок або деталей різних габаритів.

Розточними різцями, зенкерами, розвертками ведуть обробку в попередньо відформованих отворах з припуском, щоб отримати отвори з точно координованими осями та вищою чистотою обробленої поверхні.

На свердлильних і розточних верстатах проводять і багатоінструментальну обробку. На розточних верстатах також застосовують осьові інструменти, але частіше розточні різці. При обробці застосовують різцеві головки та різцеві блоки. Найбільш високу точність забезпечують алмазні розточні різці.

На відміну від точіння та фрезерування свердління проходить в більш важких умовах: складними є процес відводу стружки і підведення охолоджувальної рідини, зміна швидкості різання по довжині різальної кромки, перемичка має кут різання більше 90° , а швидкість різання біля перемички приблизно рівна 0, тому перемичкою проходить не різання, а зминання матеріалу, що викликає збільшення спрацювання свердла. Направляючі стріч-



ки не мають заднього кута, тому при свердлінні спостерігається значне тертя.

Свердла, зенкери та розвертки – це різальні інструменти в вигляді тіла обертання, на поверхні яких розміщені різальні зуби.

7.1. Типи свердильних верстатів

Свердильні верстати використовуються для обробки отворів свердлами, зенкерами, розвертками, розкатниками, осьовими комбінованими інструментами, нарізання внутрішніх різьб, отримання конічних і циліндричних заглиблень, для обробки плоских торців бобишок і приливів, вирізання дисків і кілець із листових заготовок.

Свердильні верстати згідно класифікації представлені трьома типами: вертикально-свердильними, радіально-свердильними і спеціальними чи спеціалізованими.

Верстати спеціальні чи спеціалізовані використовуються для виконання робіт в умовах масового та велико-серійного виробництва (верстати для свердління в конічних валах, фільерах, розпилювачах, для глибокого свердління тощо). Вони можуть мати як вертикальну, так і горизонтальну компоновку.

Найбільш поширеними типами свердильної групи є 1 і 5 тип (вертикально-свердильні та радіально-свердильні), які мають в позначенні цифри 1 і 5 (2Н135, 2А150, 2К52, 2М53, 2М52).

Вертикально-свердильні верстати мають вертикальне розміщення осі шпинделя і випускаються в двох виконаннях: настільному та напільному.

Основною характеристикою цих верстатів є найбільший діаметр отвору в сталі з $\sigma_b=500\ldots600$ МПа. Для настільних верстатів цей діаметр не більше 16мм, напільних – 75 мм. Вертикально-свердильні верстати по числу шпинделів діляться на одношпиндельні та багатошпиндельні, по степені автоматизації – на напівавтоматичні, автоматичні і автоматизовані з програмним управлінням.

На рис. 106 наведена будова вертикально-свердильного вер-



стата тип 2A150.

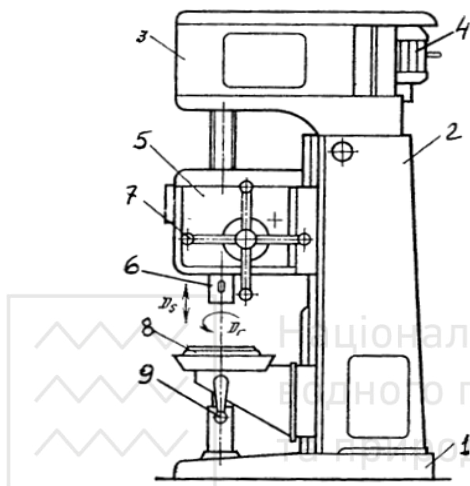


Рис. 106. Вертикально-свердильний верстат 2A150

Основні вузли верстату розміщені на фундаментній плиті 1 і станині 2. На верхній частині станини розміщені коробка швидкостей 3 і електродвигун 4. На верхніх направляючих станини встановлена шпиндельна бабка 5, в якій розміщений механізм подачі, який виконує механічне вертикальне переміщення шпинделя 6 з інструментом. Ручне переміщення шпинделя виконується штурвалом 7. Заготовка та пристрій встановлюються на столі 8, який може переміщатись по вертикальних направляючих станини ручкою 9. На верстаті можна свердлити отвори діаметром до 50 мм і глибиною до 300 мм. Головний рух передається шпинделю від електродвигуна потужністю 7 кВт через коробку швидкостей, яка дозволяє отримувати 12 чисел обертів шпинделя (від 32 до 1400 об/хв).



Коробка подач забезпечує дев'ять подач (від 0,125 до 2,14 мм/об). На верстаті передбачений механізм, який забезпечує свердління отворів на задану глибину з автоматичним відключенням подачі. Головний рух обертання (D_v) і подачі (D_s) отримує шпиндель з різальним інструментом. В усіх типорозмірах вертикально-свердильних верстатів кінематичні схеми побудовані по одному принципу.

Радіально-свердильний верстат типу 2М53 наведено на рис. 107. Цей верстат конструктивно більш складний, ніж вертикально-свердильний, виконуючі органи якого роблять більше число рухів.

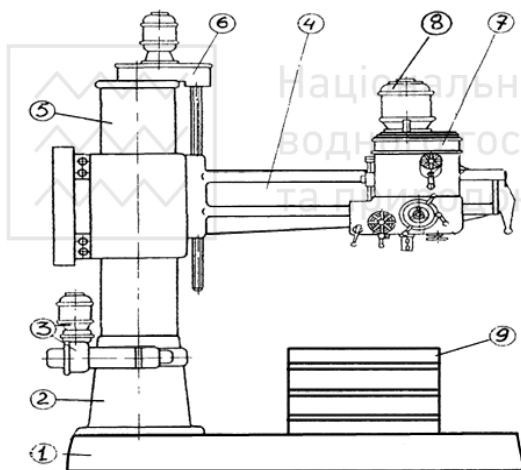


Рис. 107. Радіально-свердильний верстат 2М53

Верстат монтується на фундаментній плиті 1, на верхній площині якого встановлюють стіл 9 для обробки малогабаритних заготовок. Для обробки великих і масивних заготовок стіл 9 відсутній, а заготовка встановлюється безпосередньо на фунда-



ментну плиту 1. На фундаментній плиті жорстко закріплений цоколь 2 з нерухомою внутрішньою колоною (на схемі не показано), де на підшипниках встановлена поворотна зовнішня колона 5, яка обертається від приводу 3. На поворотній колоні встановлена траверса 4, яка може переміщатись вертикально за рахунок приводу 6. По направляючих траверси в радіальному напрямку переміщається шпindelна бабка 7, яка отримує рух від електродвигуна 8 приводу коробки швидкостей і подач, які кінематично зв'язані між собою і розміщені в корпусі цієї бабки.

Ефективне використання свердильних верстатів можливо тільки при наявності достатньої кількості допоміжних інструментів і оснастки. Допоміжні інструменти встановлюються в шпинделях. Вони застосовуються для кріплення різального інструменту і швидкої його заміни. Найбільш простим інструментом є інструментальні втулки з конусом Морзе № 1–5, різні втулки, подовжувачі оправки (рис. 108, а), кулачкові та цангові патрони (рис. 108, б). Для компенсації відхилень від соосності інструменту з шпинделем застосовують плаваючі патрони, які допускають зміщення інструменту паралельно своїй осі. Для скорочення допоміжного часу використовують швидкозмінні патрони (рис. 108, в), які дозволяють змінювати інструменти без зупинки шпинделя.

Для покращення якості нарізваної різьби та запобігання поломки інструменту застосовують запобіжні патрони, які не передають крутий момент при перевантаженнях.

Установка і закріплення різних по конфігурації заготовок при обробці на свердильних верстатах виконується за допомогою універсальних пристосувань: машинних лещат, кутників, плаваючих столів, прихватів. Ці пристосування використовуються в одиничному виробництві при обробці отворів по розмітці з відхиленням міжцентрової відстані $\pm (0,25 \dots 0,5)$ мм.

В серійному виробництві і при підвищених вимогах до точності обробки застосовують спеціальні пристрої-кондуктори, в яких в якості напрямного інструменту при обробці застосовують постійні чи змінні втулки із загартованої сталі У12А. Свердління по кондуктору дозволяє знизити відхилення міжцентрової



відстані до $\pm (0,05 \dots 0,30)$ мм.

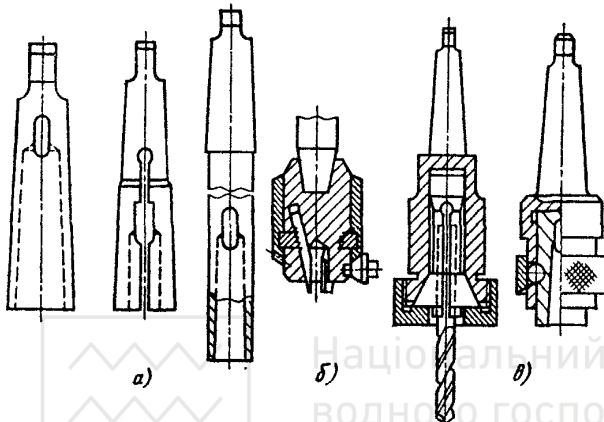


Рис. 108. Допоміжний інструмент

7.2. Горизонтально-розточні верстати

На горизонтально-розточних верстатах обробляються базові, корпусні деталі, від точності обробки яких залежить якість механізмів і машин. На цих верстатах обробляються важкі заготовки або заготовки в яких отвори точно координуються відносно один одного і розміщені в одній або декількох площинах. Розточні верстати застосовуються для свердління, зенкерування, розвірчування, розточування отворів, нарізання різьб і фрезерування.

Горизонтально-розточні верстати відносяться до свердлильно-розточної групи I, відповідно, в позначенні мають цифру 6, що означає 6 тип (2620В, 2М614, 262Г).

Горизонтально-розточні верстати використовуються в одиничному та малосерійному виробництві. Ці верстати мають горизонтальне розміщення шпинделя, діаметр якого є основною характеристикою верстату. Менша ширина прямокутного столу



для установки заготовок, як правило, рівна десяти діаметрам шпинделя.

На рис. 109 наведена будова горизонтально-розточного верстату 262Г. На станині 1 з правого боку встановлена передня стійка 2, на вертикальних направляючих якої змонтована шпиндельна бабка 5 з коробкою швидкостей і коробкою подач. На шпиндельній бабці змонтована планшайба 7 з радіальним супортом, який несе різець. Всередині планшайби змонтований розточний шпиндель 6, в конічний отвір якого вставляється борштанга. Лівий кінець її утримується в люнеті 8 задньої стійки 3. Люнет розміщений соосно з шпинделем і може переміщатись в вертикальному напрямі синхронно з шпиндельною бабкою.

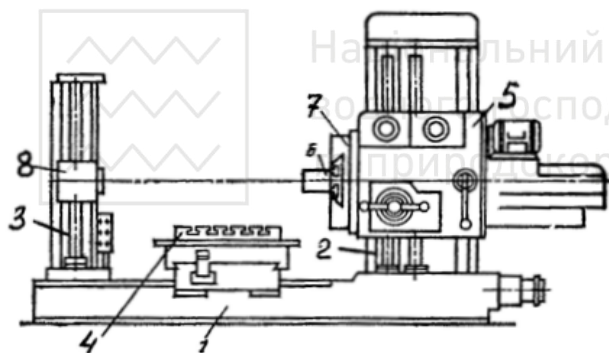


Рис. 109. Горизонтально-розточний верстат 262Г

Заготовка встановлюється і закріплюється на столі 4, який має поздовжнє та поперечне переміщення за допомогою салазок. Верхня частина столу має можливість повертатись. При розточуванні коротких отворів подача надається шпинделю. При обробці довгих і соосних отворів за допомогою борштанги подача, як правило, надається столу в поздовжньому напрямку. При фрезеруванні торцевих площин подача надається столу в



поперечному напрямку чи шпindelній бабці в вертикальному напрямку. Потужність головного електродвигуна 7 кВт. При нарізанні різьб шпindelю надається за один його оберт осове переміщення, яке рівне кроку різьби, яка нарізається.

При підрізанні торців за допомогою радіального супорту рух різання надається планшайбі, а переміщення супорту в радіальному напрямку (в радіальних направляючих планшайби) слугує рух подачі.

Горизонтально-розточні верстати з діаметром шпинделя 125...320 мм не мають столу. Заготовку установлюють безпосередньо на плиті або на станині. Поздовжня подача виконується переміщенням стійки.

7.3. Утворення та обробка отворів на свердильних верстатах

На свердильних верстатах виконуються такі технологічні процеси (види робіт):

1. Свердління – один із найпоширеніших способів утворення циліндричних отворів у суцільному матеріалі за допомогою свердл (рис. 110, а).

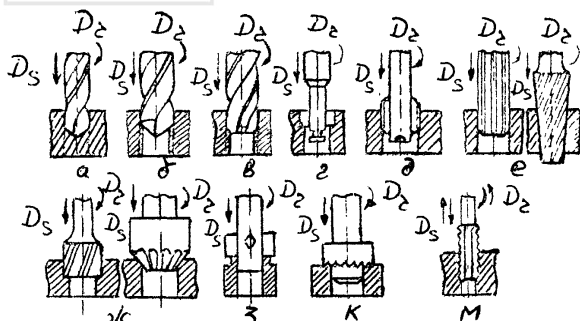


Рис. 110. Схеми обробки отворів на свердильних верстатах

Оброблені отвори мають параметр шорсткості $R_a = 12,5$ мкм



і точність, яка відповідає 12-14 квалітету. Причиною невисокої точності просвердлених отворів є відхилення від соосності свердла з шпинделем верстату та відхилення від симетричності заточення різальної частини. Ці фактори приводять до «розбивання» отвору (збільшення його діаметра по зрівнянню з діаметром свердла). Для свердл з двома різальними кромками ця «розбивка» становить 1% діаметра свердла.

Отвір, який отриманий свердлом, використовують, як правило, для болтового з'єднання або для наступного нарізання різьби;

2. Розсвердлювання – процес збільшення свердлом наявних отворів (рис. 110, б). Ці отвори мають параметр шорсткості та точність таку як і при свердлінні;

3. Зенкерування – процес обробки циліндричних литих, штампованих або попередньо просвердлених отворів зенкером для надання їм правильної геометричної форми, потрібних розмірів і чистоти поверхні (рис. 110, в). Зенкер – багатолезовий інструмент ($z = 3 \dots 8$). Збільшення по зрівнянню з свердлом числа різальних зубів дозволяє отримувати при зенкеруванні більш точні по формі та розміру отвори. При цьому забезпечується параметр шорсткості обробленої поверхні $R_a = 6,3$ мкм.

Збільшення точності і зниження шорсткості при обробці отворів, які отримані литтям або штампуванням, приводить до розділення операцій зенкерування на чорнові та чистові переходи. Глибина різання при зенкеруванні збільшується з збільшенням діаметра отвору;

4. Розточування отворів різцями – збільшення існуючих отворів з метою забезпечення малих відхилень міжосьової відстані осей оброблюваних отворів, дозволяє шляхом зміни положення різця обробляти отвори різних діаметрів і глибин (рис. 110, г). Розточування забезпечує шорсткість $R_a = 0,32$ мкм і точність, яка відповідає 6-7 квалітету. Слід відмітити ряд недоліків розточування. Це складність виходу різця з отвору після закінчення розточування, невисока стійкість різця та велика трудоемкість налагодження процесу різання;

5. Вигладжування або накатування – метод фінішної обробки отворів за рахунок поверхневого пластичного деформування



(рис. 110, д). При пластичному деформуванні мікронерівності не зрізаються так як при обробці металів різанням, а пластично деформуються гладкою робочою частиною інструменту. По такій схемі обробки проходить не тільки зниження шорсткості оброблюваної поверхні, а і зміцнення її поверхневого шару. Схема вигладжування ґрунтується на обробці поверхні отвору деформуючим елементом, який ковзає по поверхні. Схема накатування ґрунтується на обробці поверхні отвору деформуючим елементом, який котиться по поверхні. При вигладжуванні в якості деформуючого елемента використовується твердосплавний або алмазний наконечник з малим радіусом скруглення робочої поверхні ($R = 0,75 \dots 4,0$ мм), при цьому достатньо прикладання незначних сил порядку $50 \dots 300$ Н. Твердість деталей, що обробляються, може досягати $60 \dots 65$ HRC. При вигладжуванні шорсткість поверхні знижується до $R_a = 0,4$ мкм і на $20 \dots 40\%$ зміцнюється поверхневий шар.

Накатування більш продуктивне і забезпечує більшу глибину зміцнюваного шару. Параметр шорсткості при накатуванні більший, чим при вигладжуванні, і складає для сталених деталей $R_a = 0,08 \dots 0,63$ мкм.

При обробці отворів вигладжуванням і накатуванням також збільшується і точність обробки, яка залежить від радіальної жорсткості закріплення деформуючих елементів;

6. Розвірчування – процес остаточної обробки отворів для надання їм точних розмірів і високої чистоти поверхні (рис. 110, е). Розвірчування виконують, як правило, після зенкерування або розточування і є фінішною обробкою точних отворів. Розрізняють чорнове та чистове розвірчування. Середнє значення точності при розвірчуванні відповідає 6-9 квалітету, а шорсткість $R_a = 0,32 \dots 1,25$ мкм. Розвірчування виконується розвертками, які мають парну кількість зубів (як правило $z \geq 4$). Наявність в розверток калібруючої частини забезпечує високу точність форми отвору, але не можуть виправити напрямки його осі. При розвірчуванні різання виконується на дуже малу глибину ($t = 0,1 \dots 0,4$ мм);

7. Зенкування – процес утворення циліндричних або конічних заглиблень у попередньо просвердлених отворах під головки



болтів, гвинтів та інших деталей за допомогою циліндричних і конічних зенківок (рис. 110, ж);

8. Цекування торців бобишок – процес обробки торців бобишок, які прилягають до отвора торцевими зенкерами з направляючою цапфою (рис. 110, з);

9. Цекування поверхонь – процес обробки поверхонь під гайки, шайби і кільця ножами (пластинками) або торцевими зенкерами з направляючою цапфою (рис. 110, к);

10. Нарізання різьб – процес нарізання внутрішніх різьб мітчиками (рис. 110, м).

Свердла, зенкери, розвертки виготовляють з вуглецевої інструментальної та швидкорізальної сталі, при цьому хвостовик – з вуглецевої сталі. Для свердління отворів у твердому чавуні, загартованій сталі та інших матеріалах підвищеної твердості застосовують свердла, які оснащені пластинками з твердих сплавів.

7.4. Типи сверدل

Найбільш поширеними інструментами для обробки отворів є свердла, які випускаються діаметром від десятих долей до 80 міліметрів різної глибини. По конструкції свердла можна поділити на спіральні, перові, для глибокого свердління, центрувальні та свердла для кільцевого свердління (гарматні).

Спіральні свердла (рис. 111, а, б) діляться на свердла загального застосування та точні. Свердла діаметром від 0,1 до 1,5 мм виготовляються з потовщеним хвостовиком для зручності закріплення в патроні. Цей хвостовик має, одні розміри для всіх діаметрів. Ці свердла виготовляються із швидкорізальної сталі Р6М3 і Р6М5К5 з твердістю робочої частини 60...62 HRC. Для обробки твердих матеріалів виготовляють твердосплавні свердла діаметром 0,6...1,0 мм із сплавів ВК10М, ВК15М. Стійкість таких свердел в 20...30 раз вища стійкості звичайних швидкорізальних. Робочу твердосплавну частину цих свердел припаюють до хвостовика із сталі 45.

Цільні твердосплавні свердла діаметром 3,5...6,0 мм виготовляють шліфуванням гладких циліндричних стержнів із сплавів



ВК6М. Свердла інших діаметрів виготовляють із швидкорізальних сталей Р12, Р6М3 для обробки конструкційних сталей. Для обробки твердих матеріалів свердла виготовляють із швидкорізальних сталей Р9К10, Р9М4К8Ф; ці свердла мають твердість робочої частини 63...65 HRC. Такі свердла можуть виконуватись, як з правим так і з лівим напрямком гвинтових каналів.

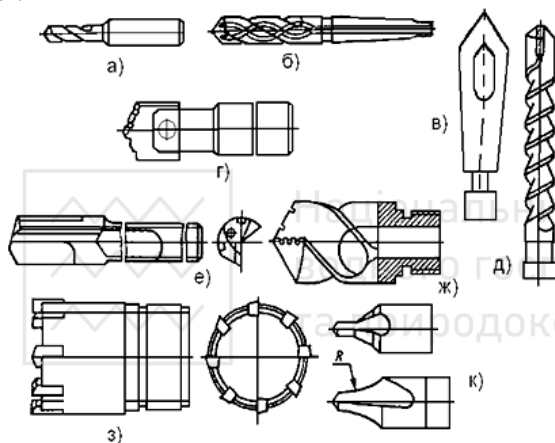


Рис. 111. Конструкції сверدل

Спіральні свердла діаметром більше 8 мм виготовляють зварними. Робоча частина виготовлена із швидкорізальної сталі, а хвостовик із конструкційної. Свердла з пластинками із твердого сплаву закріплюють в корпус, який виготовлений із сталі 40Х, 9ХС, Р9 пайкою.

Свердла діаметром 6...80 мм із швидкорізальної сталі виготовляють із конічним хвостовиком.

Перові свердла (рис. 111, в, г) виготовляються в вигляді стержня або закріпленої на оправці пластинки з різальними кромками, які заточені під кутом $2\varphi = 80...150^\circ$. Застосовують їх для



свердління отворів у твердих поковках і виливках і для обробки ступінчатих отворів. Ці свердла найбільш прості в виготовленні і застосовують їх для обробки отворів малого (0,2... 1,0 мм) і великого (більше 80 мм) діаметрів, а також при ремонті. Частіше застосовуються перові свердла в вигляді пластинки, яка закріплена на державці (рис.111, г). Шнекові перові свердла (рис. 111, д) знайшли застосування при обробці отворів в сталях, чавунах, легких сплавах і дереві при глибині більше 10 діаметрів без періодичного виходу свердла із отвору.

Свердла для глибокого свердління (рис. 111, е, ж) виготовляються двох видів. Перший вид застосовується для свердління глибоких отворів з віссю, яка має мале відхилення від прямолінійності. Ці свердла (рис. 111, е) мають одну кромку різання з вершиною, яка зміщена відносно осі. Такі зміщення при свердлінні утворюють зустрічний конус. Це, а також те що свердло опирається направляючими пластинками на бічну поверхню отвору, забезпечують мале відхилення від прямолінійності його осі. Свердло починає свою роботу в частково просвердленому отворі або при використанні кондуктора.

Свердла для глибокого свердління застосовуються при свердлінні отворів, глибина яких в 5 раз більша діаметра. Ці свердла можуть бути виготовлені з однією та двома різальними кромками, в яких стружка видаляється по центральному отвору (рис. 111, ж).

Свердла для кільцевого свердління (гарматні, збройові) наведені на рис. 111, з. Ці свердла застосовуються при свердлінні глибоких отворів діаметром 80...200 мм і більше. При кільцевому свердлінні в стружку відходить тільки вузька кільцева частина матеріалу, а центральний стержень може бути використаний в якості заготовки.

Центрувальні свердла (рис. 111, к) виготовляються двох типів: з запобіжною фаскою і без запобіжної фаски. Свердла цих типів виготовляють із швидкорізальної сталі. Ці свердла застосовуються для утворення центрувальних отворів, які необхідні при обробці валів. Центрувальні свердла можуть мати робочу частину, яка виготовлена із твердого сплаву, при цьому профіль різальної кромки буде мати більш дугоподібний вид.



7.5. Будова спірального свердла

Спіральні свердла виготовляють діаметром від 0,1 до 80 мм. Будова спірального свердла наведена на рис. 112. Воно складається з різальної частини 1, напрямної 2, шийки 3, хвостовика 4 і лапки 5. Різальна частина виконує основну роботу різання. Напрямна частина спрямовує свердло в отворі і забезпечує утворення отвору потрібного діаметра. Хвостовик необхідний для кріплення свердла на верстаті та може бути циліндричним або конічним.

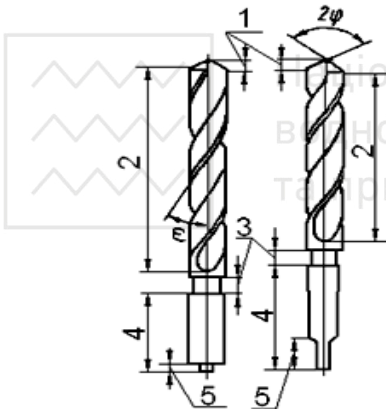


Рис. 112. Будова спірального свердла

Свердла з конічним хвостовиком кріпляться безпосередньо в шпинделі верстату, а з циліндричним хвостовиком – в патроні. Лапка є упором для вибивання з шпинделя свердла з конічним хвостовиком.

Різальна частина свердла включає в себе: передню 1 і задню 2 поверхні, головну 3 і допоміжну 4 різальні кромки, а також



поперечну кромку 5 (рис. 113). Передня поверхня свердла – гвинтова канавка, по якій сходить стружка. Задня поверхня – це обернена до поверхні різання поверхня, що утворюється при заточуванні свердла. Головні різальні кромки свердла утворюються перетином передніх і задніх поверхонь. Величина кута між ними для свердла для обробки сталі і чавуну $2\varphi = 116...118^\circ$, для свердління м'яких і в'язких матеріалів (алюмінію, силуміну) $2\varphi = 80...90^\circ$, для свердління твердих і крихких матеріалів – $2\varphi = 130...140^\circ$. Щоб підвищити стійкість свердла, застосовують подвійне заточування (рис. 114). При цьому свердло заточують так, що, крім основного кута при вершині $2\varphi = 118^\circ$ на довжині $0,2 D$ роблять ще додатковий кут $2\varphi_1 = 70...75^\circ$. Стійкість таких свердла значно більша ніж стійкість свердла із звичайним заточуванням. Кут нахилу гвинтової канавки ω – кут між віссю свердла і дотичною до гвинтової лінії по зовнішньому діаметру свердла (рис. 113). Як правило, він рівний $18...30^\circ$.

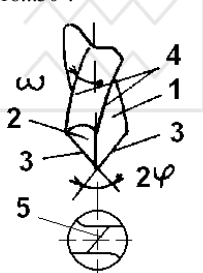


Рис. 113. Різальна частина свердла



Рис. 114. Подвійне заточування свердла



Кути різання свердла

Ці кути задаються в двох площинах. Перша площина – головна січна площина $N - N$ (рис. 115, а), нормальна до головної різальної кромки, свердло має форму різця з властивими йому геометричними параметрами. Передній кут свердла γ задається в цій площині. Утворений цей кут дотичною до передньої поверхні свердла в точці і лінією перпендикулярною до площини різання в тій самій точці (рис. 115, б). Друга площина – площина паралельна осі свердла $O - O$ (рис. 115, а). Задній кут α задається в цій площині. Цей кут між дотичними до задньої поверхні свердла і до обводу, який утворюється в цій точці при обертанні її навколо осі свердла (рис. 115, в)

Величина переднього і заднього кутів у різних точках різальної кромки свердла різна. Найбільші за величиною значення переднього кута ($\gamma = 28...32^\circ$) і найменші заднього ($\alpha = 6...8^\circ$) будуть у точках на периферії свердла. У міру наближення до осі свердла величина переднього кута зменшується, а заднього навпаки – збільшується. У поперечній кромки передній кут може набувати навіть від'ємних значень.

Кут нахилу поперечної кромки свердла наведений на рис. 116 і він становить ($\psi = 50...55^\circ$). Працює поперечна кромка у важких умовах різання, оскільки передній кут має малі або від'ємні значення і кромка зминає метал, а не ріже. При цьому виникають значні зусилля, які направлені вздовж осі свердла. Для зменшення цих зусиль і полегшення різання, перемичку часто підточують, зменшуючи довжину поперечної кромки.

Для зменшення тертя свердла об стінки отвору на напрямній частині його залишають дві вузькі гвинтові стрічки-фаски шириною 0,2...2,6 мм залежно від діаметра свердла. З цією ж метою, діаметр свердла зменшують у напрямку до хвостовика на 0,03...1 мм на кожних 100 мм довжини.

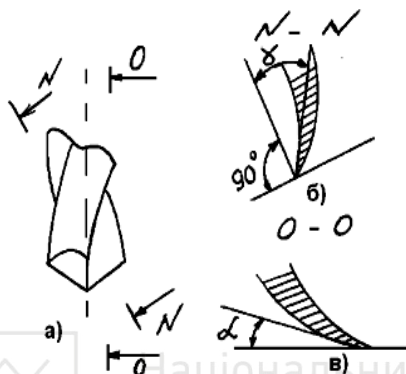


Рис. 115. Площини і кути різання свердла:

а – площини свердла; б – передній кут; в – задній кут.

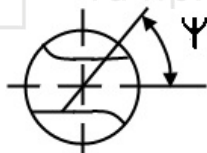


Рис. 116. Кут нахилу поперечної кромки

7.6. Зенкери, зенківки, розвертки та інструменти для розточник робіт

При зенкуванні припуск складає 0,5...3 мм. Чистота обробленої поверхні досягає 4...6 класу чистоти поверхні. Необхідно розрізняти зенкери та зенківки.

Зенкери – багатозазубрований інструмент для проміжної або кінцевої обробки попередньо просвердлених отворів.



Зенківки – багатолезовий інструмент для утворення конічних фасонних перехідних ділянок від отвору до торця (утворення циліндричних або конічних заглиблень у попередньо просвердлених отворах під головки болтів, гвинтів за допомогою циліндричних або конічних зенківок). Зенківки з направляючою цапфою – це багатолезовий інструмент для обробки циліндричних заглиблень і підрізки глухих торців.

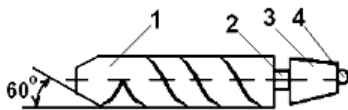


Рис. 117. Кінцеві (суцільні) зенкери

Зенкери поділяються на кінцеві (суцільні) і насадні. Кінцеві зенкери виготовляють з циліндричним або конічним хвостовиком. Застосовують їх в машинобудуванні для обробки отворів діаметром до 40 мм. Їх робочу частину виконують із швидкорізальної сталі або оснащують пластинками із твердого сплаву груп ВК і ТК. По конструкції суцільні зенкери подібні свердлам без поперечної кромки і мають більше число зубів (рис. 117), як правило 3–4. Вони складаються з робочої частини 1, хвостовика 3, шийки 2 і лапки 4. На робочій поверхні є стружкові канавки, одна із поверхонь якої є передньою поверхнею. Стружкові канавки можуть бути як прямі ($\omega=0$), так і гвинтові з кутом $\omega=20^\circ$ (зенкери з швидкорізальної сталі) або $\omega=15^\circ$ (зенкери з твердосплавних матеріалів). Робоча частина зенкера складається з різальної та напрямної частини. Різальні кромки розміщені під кутом $\varphi = 45^\circ \dots 60^\circ$ до осі зенкера. Різальна частина виконує основну роботу різання. Напрямна частина спрямовує зенкер в отворі, забезпечує утворення отвору потрібного діаметру. Хвостовик необхідний для кріплення в шпинделі верстату.

Для обробки отворів великих діаметрів ($D > 30$ мм) застосовують насадні зенкери (рис. 118), які встановлені на оправку. Їх виготовляють із швидкорізальної сталі або оснащують твердим сплавом. Для економії інструментального матеріалу, починаючи з діаметра 50 мм і вище, насадні зенкери оснащують вставними ножами із швидкорізальної сталі. Вставні ножі встановлюються з натягом в корпусі із сталі 40Х і утримуються там силами тертя



та різання. Профілі поперечного перерізу зенкерів можуть мати різну форму (рис. 118, б).

Обробку прилеглих до отвору поверхонь проводять зенківками кінцевими, циліндричними та цековками (рис. 119) із інструментальних сталей, або ці інструменти оснащені твердим сплавом.

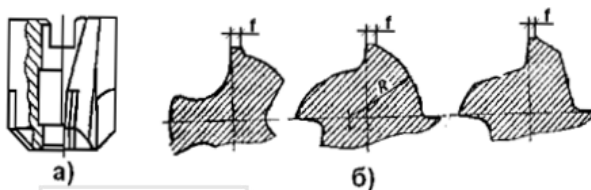


Рис. 118. Насадні зенкери:
а – загальний вигляд; б – профілі поперечного перерізу

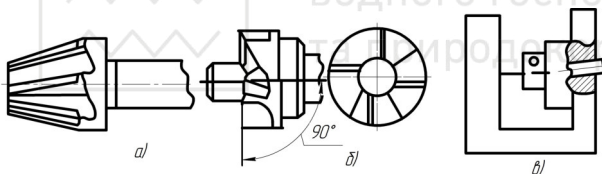


Рис. 119. Види зенківок:
а – кінцева; б – циліндрична з напрямною цапфою; в – підрізна
обернена (цековка)

Кути різання зенкера та зенківки задаються у площині нормальній до різальної кромки (рис. 120). В залежності від виду матеріалу, який обробляється, у зенкерів із швидкорізальної сталі кут γ змінюється від $15...20^\circ$ при обробці м'якої сталі; $0...5^\circ$ – при обробці твердої сталі та твердого чавуну. Величина заднього кута α величина змінна. Біля точок різальної кромки, на зовнішньому діаметрі дорівнює $8...10^\circ$. По мірі наближення



до осі зенкера задній кут збільшується.

Напрямна частина зенкерів, так як і свердла, має напрямні стрічки шириною 0,8...2 мм в залежності від діаметра, який роблять, для зменшення тертя об стінки отвору, меншими у напрямку до хвостовика на 0,05...1 мм на кожних 100 мм довжини.

Розвертки застосовуються для утворення точних і чистих отворів. Їх включають в роботу після попередньої обробки отворів свердлом, зенкером або розточним різцем. В залежності від форми отворів, які обробляються, розвертки поділяють на циліндричні, конічні та ступінчасті (рис. 121).



Рис. 120. Кути різання зенкера та зенківки:
а – січна площина; б – кути різання

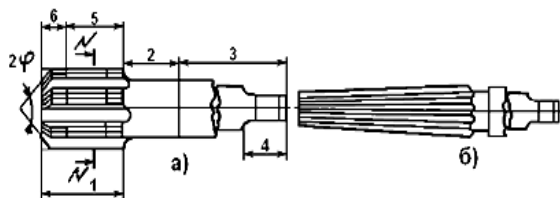


Рис. 121. Розвертки:
а – циліндричні; б – конічні

Вони можуть бути машинні або ручні. Для ремонтних робіт



випускають ручні розтискні розвертки з межами регулювання діаметра 0,5...3 мм. Розвертки суцільні виготовляють із швидко-різальної сталі з циліндричними (для $D \leq 10$ мм) або конічним хвостовиком (для $D > 10$ мм). Так як і зенкери, розвертки для діаметрів отворів 30 мм роблять насадними з ножами з швидко-різальної сталі або твердих сплавів (рис. 122). Вставні ножі мають рифлення, так як і рифлення в пазах корпусу. Це дозволяє перестановкою ножів і закріплення їх клинцями налагоджувати розвертку на потрібний діаметр.

Розвертка складається із робочої частини 1, шийки 2 і хвостовика 3 (рис. 121). Робоча частина включає різальну 6 і калібрувальну 5 частини. Кути різання (γ і α) задаються у площині, нормальній до різальної кромки (рис. 121, а). Кут φ в ручних розвертках становить $1...2^\circ$, а в машинних $\varphi = 3...5^\circ$ для обробки крихких і твердих металів і $\varphi = 12...15^\circ$ для в'язких матеріалів (рис. 123).

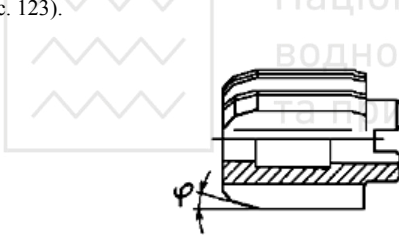


Рис. 122. Насадна розвертка

У чорнових розверток передній кут $\gamma = 5...10^\circ$, задній $\alpha = 7...12^\circ$, у чистових $\gamma = 0$, $\alpha = 3...5^\circ$.

Калібрувальна частина спрямовує розвертку в отворі, надає йому потрібної точності і чистоти поверхні. На зубах калібрувальної частини залишають стрічку r_o шириною 0,05...0,5 мм, яка забезпечує напрям розвертки в отворі і «вигладжує» оброблену поверхню. Хвостовик застосовується для кріплення машинних розверток у шпинделі верстату, а ручних – у воротку.

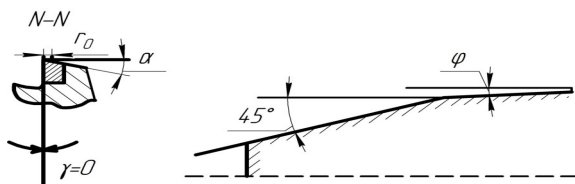


Рис. 123. Кути різання розверток

Хвостові розвертки виготовляють діаметром 3...50 мм, а насадні – до 100 мм. Число зубів розверток, для полегшення вимірювання їх діаметра, звичайно парне і залежно від величини діаметра буває в межах 6...12.

За допомогою розверток утворюють отвори 7...9 класів чистоти поверхні.

Інструменти для розточувальних робіт

Ці інструменти застосовуються для розточування корпусних деталей. Найбільш простим інструментом є розточний різець з державкою квадратного перерізу, які закріплюються в отворі борштанги (рис. 124). Цей отвір роблять похилим або перпендикулярним до поздовжньої осі борштанги.

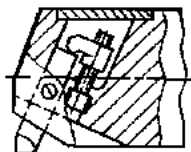


Рис. 124.
Розточний різець

Розточні різці оснащені твердим сплавом з державками із сталі У7. Розточування отворів малого розміру з точністю по 6-7 класу проводять різцями з твердосплавними коронками, задню поверхню яких виконують по архімедовій спіралі (рис. 125). Чистове розточування отворів виконують мікроборами (рис. 126). Налагодження на розмір виконують за допомогою нарізаної на державці різця-вставки різби з кроком 0,5; 1,0 мм, гайки лімба та конуса на борштанзі. Налагодження на розмір виконують як на верстаті, так і на спеціальному пристосуванні.

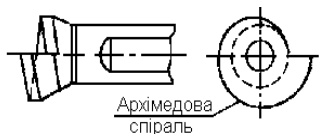


Рис. 125. Різці з твердосплавними коронками

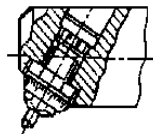


Рис. 126. Мікробор

Розточування глухих отворів і наскрізних отворів діаметром 48...70 мм виконують за допомогою блоків (рис. 127).

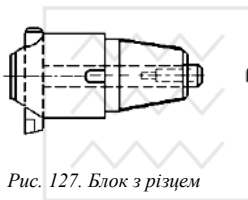


Рис. 127. Блок з різцем

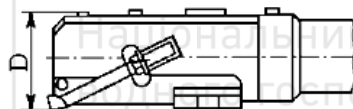


Рис. 128. Розточна головка одностороннього різання

Розточування глибоких отворів діаметром 45...200 мм виконують розточними головками одностороннього різання (рис. 128). Орієнтування головки в отворі досягається установкою твердосплавних направляючих на її корпусі. Для чистової та напівчистової обробки отворів можуть застосовуватись блоки з двома лезами, які оснащені непереточуваними твердими сплавами.

7.7. Елементи процесу різання. Площа зрізу

До елементів режиму різання відносяться; глибина різання (t), подача (S) і швидкість (V).

При свердлінні глибина різання дорівнює половині діаметра свердла (рис. 129, а), при розсвердлюванні, зенкеруванні та розвірчуванні – $1/2$ різниці діаметрів до і після обробки



(рис. 29, б, в).

При свердлінні:

$$t = \frac{D}{2}, (\text{мм}). \quad (1)$$

При розсвердлюванні, зенкеруванні та розвірчуванні:

$$t = \frac{D - D_0}{2}, (\text{мм}). \quad (2)$$

Під подачею розуміють переміщення різального інструмента за один його оберт (S_0 – подача на один оберт, мм/об). Так як свердло має дві різальні кромки, то подача на одну різальну кромку дорівнює половині подачі на оберт:

$$S_z = \frac{S_0}{2}, (\text{мм} / \text{зуб}). \quad (3)$$

Подача на один зуб при зенкеруванні та розвірчуванні дорівнює подачі на один зуб розділеній на кількість різальних зубів:

$$S_z = \frac{S_0}{z}, (\text{мм} / \text{зуб}). \quad (4)$$

Розрізняють хвилинну подачу – це переміщення різального інструменту за одну хвилину:

$$S_{xв} = S_z \cdot n, (\text{мм} / \text{хв}). \quad (5)$$

Швидкість різання – це колова швидкість обертання точки різальної кромки, яка розміщена на зовнішньому діаметрі свердла, зенкера або розвертки:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, (\text{мм} / \text{хв}). \quad (6)$$

Площа зрізу при свердлінні, зенкеруванні та розвірчуванні рівна добутку глибини різання на подачу (рис. 129):



$$f = t \cdot S_0, (\text{мм}^2). \quad (7)$$

При свердлінні:

$$f = \frac{S_0 \cdot D}{2}, (\text{мм}^2). \quad (8)$$

Площа зрізу, яка приходить на одну різальну кромку при свердлінні:

$$f_1 = \frac{f}{2} = \frac{S_0 \cdot D}{4}, (\text{мм}^2). \quad (9)$$

Крім цього, площа зрізу, яка приходить на одну різальну кромку при свердлінні, розсвердлюванні, зенкеруванні та розвірчуванні можна виразити через товщину зрізу a і ширину зрізу b :

$$f = a \cdot b, (\text{мм}^2). \quad (10)$$

$$f_1 = a \cdot b, (\text{мм}^2).$$

Отформатировано: По левому краю, интервал Перед: 0 пт

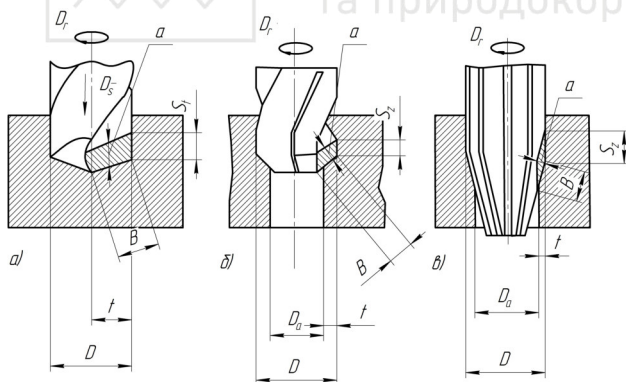


Рис. 129. Площа зрізу:



a – при свердлінні; b – при розсвердлюванні та зенкеруванні;

c – при розвірчуванні

Величина товщини зрізу визначається мінімальною відстанню між двома послідовними положеннями різальної кромки за один оберт свердла і вимірюється в напрямку, перпендикулярному до головної різальної кромки (рис. 130)

$$\sin \varphi = \frac{a}{S_z}, \quad (11)$$

звідки

$$a = S_z \cdot \sin \varphi = \frac{S_0}{2} \sin \varphi. \quad (12)$$

Ширина зрізу вимірюється вздовж різальної кромки свердла:

$$\sin \varphi = \frac{D/2}{b} = \frac{D}{2b}, \quad (13)$$

звідки

$$b = \frac{D}{2 \sin \varphi}. \quad (14)$$

Рис. 130. Площа зрізу

При розсвердлюванні, зенкеруванні та розвірчуванні:

Отформатировано: По правому краю

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см, интервал Перед: 0 пт, Узор: Нет



$$b = \frac{D - D_0}{2 \sin \varphi}, (\text{мм}). \quad (15)$$

7.8. Сили різання, крутний момент і потужність при свердлінні

Спіральне свердло виконує роботу різання п'ятьма різальними кромками (дві головні, дві допоміжні та перемичка). При різанні виникає тиск вихідної стружки на передню поверхню, тиск матеріалу на задню поверхню, тертя стружки по передній поверхні, тертя задньої поверхні по поверхні різання, а також тертя по стінках отвору стрічок, які розміщені на циліндричній поверхні свердла. Має місце також додатковий крутний момент від поперечної кромки свердла та осьовий тиск. Якщо розглянути всі сили, які діють на дві головні різальні кромки і прийняти, що ці сили сконцентровані в точці, то при розкладанні цих сил по осях координат отримаємо складові P_x , P_y , P_z (рис. 131). Радіальні сили P_y рівні і протилежно направлені, взаємно знищуються. Сили P_z діють на плече рівне $D/2$ і утворюють крутний момент $M_{кр}$, а сили P_x є складовою силою P_0 .

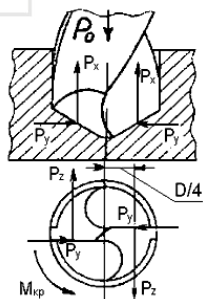


Рис. 131. Сили різання при свердлінні

Для інженерних розрахунків при свердлінні необхідно знати осьову силу та крутний момент. Осьова сила P_0 складається із



наступних складових:

$$P_0 = 2P_x + P_{пер}, \quad (16)$$

де $P_{пер}$ – сили дії матеріалу на поперечну різальну кромку (перемичку). Осьова сила переборюється механізмом подачі свердильного верстату.

Сумарний момент сил різання складається із моменту M_l від дії сили P_z , моменту від дії сили на перемичці $M_{пер}$ і моменту від сили тертя на стрічці M_c :

$$M_{кр} = M_l + M_{пер} + M_c. \quad (17)$$

У практичних розрахунках для визначення сумарного моменту $M_{кр}$ і осьової сили P_0 користуються емпіричними формулами:

$$M_{кр} = C_M \cdot D^{X_M} \cdot S_0^{Y_M} \cdot k_M \cdot (H \cdot m), \quad (18)$$

$$P_0 = C_P \cdot D^{X_P} \cdot S_0^{Y_P} \cdot k_P \cdot (H),$$

де k_P , k_M – поправочні коефіцієнти, які враховують різницю фактичних умов і умов дослідів. Значення коефіцієнтів C_M , C_P і показники степенів X_M , X_P , Y_M , Y_P наведені в посібнику [2], значення цих коефіцієнтів і показників степенів для найбільш поширених металів наведені в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Значення коефіцієнтів матеріалу та показників степенів для підрахунку $M_{кр}$ в кг мм, P_0 в кг

Матеріал	C_M	C_P	X_M	X_P	Y_M	Y_P
Сталь констру- кційна серед- ньої твердості	34	85	1,9	1	0,8	0,7
Чавун сірий	23	60	1,9	1	0,8	0,8
Чавун ковкий	20	52	1,9	1	0,8	0,8

Крутний момент при різанні переборюється крутним моментом на шпинделі верстату.



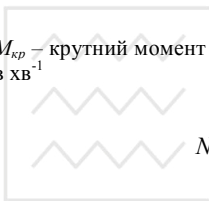
Потужність при свердлінні. Ця потужність складатиметься із потужності, яка витрачається на обертання свердла та осьове переміщення свердла:

$$N_e = N_{\text{обер.}} + N_{\text{под.}} \quad (19)$$

Потужність, яка витрачається на рух подачі, становить 0,5...2,0% від потужності, яка витрачається на обертання свердла, тому нею можна знехтувати.

$$N_{\text{плз}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750}, \quad (\text{кВт}), \quad (20)$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент в н·м; n – частота обертання шпинделя в хв⁻¹



$$N_{\text{плз}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{60 \cdot 10^3}, \quad (\text{кВт}), \quad (21)$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент в кг·мм; n – частота обертання шпинделя в об/хв.

На величину осьової сили та крутного моменту впливають: фізико-механічні властивості матеріалу, діаметр свердла, величина подачі, геометричні параметри свердла, швидкість різання, застосування мастильно-охолоджуючої рідини.

При збільшенні твердості матеріалу, який обробляється, вводиться поправочний коефіцієнт. При збільшенні твердості від $\delta_b=30\text{...}40 \text{ кг/мм}^2$ до $\delta_b=110\text{...}120 \text{ кг/мм}^2$ поправочний коефіцієнт на осьову силу P_0 і крутний момент $M_{\text{кр}}$ змінюється в межах 0,57...1,36.

При збільшенні швидкості різання зростає температура в зоні різання, що приводить до зміни фізико-механічних властивостей матеріалу, який обробляється, що впливає на величини P_0 і $M_{\text{кр}}$. При швидкості різання 2...4 м/хв осьова сила та крутний момент максимальні, а при дальшому збільшенні швидкості різання –



зменшується. Застосування мастильно-охолоджуючої рідини зменшує осьову силу та крутний момент при обробці сталі на 20...30%, а при обробці чавунів на 10...18%. По мірі затуплення свердла по задній поверхні збільшується осьова сила та крутний момент. Так, при затупленні по задній поверхні свердла на 1 мм осьова сила і крутний момент зростає на 60...80%.

7.9. Методика вибору режиму різання при свердлінні, зенкеруванні та розвірчуванні. Основний технологічний час

Глибина різання (t) вибирається в залежності від діаметра різального інструменту. При свердлінні:

$$t = \frac{D}{2}, (\text{мм}), \quad (22)$$

при розсвердлюванні, зенкеруванні та розвірчуванні:

$$t = \frac{D - D_0}{2}, (\text{мм}). \quad (23)$$

Після призначення глибини різання вибирається максимальна можлива подача по таблицях [2] в залежності від співвідношення $L_{\text{різ}}/D$, де $L_{\text{різ}}$ – довжина отвору, виду отвору, який обробляється, діаметра свердла. При твердості $\text{HB} < 229$ для сталі, $\text{HB} < 200$ для чавуну подачу на оберт інструменту (S_0) приймають з коефіцієнтом 1,2; а при $\text{HB} > 229$ для сталі і $\text{HB} > 240$ для чавуну – 0,8. При зенкеруванні та розвірчуванні глухих отворів приймають S_0 не більше 0,5 мм/об. Для отворів з точністю по 7 квалітету і $R_a = 1,6$ мкм подача зменшується на 50% по зрівнянню з вказаними в таблицях.

Визначається фактична подача, зрівнявши вибрану подачу з подачею по паспорту верстату:

$$S_0^{\text{ф}} = S_0^{\text{насн.}} \leq S_0^{\text{табл.}}. \quad (24)$$

Допустиму швидкість різання визначають за емпіричною формулою:
для свердління:



$$V_{oon} = \frac{C_V \cdot D^g}{T^m \cdot S_{of}^y} k_V, \quad (25)$$

для розсвердлювання, зенкерування та розвірчування:

$$V_{oon} = \frac{C_V \cdot D^g}{T^m \cdot t^x \cdot S_{of}^y} k_V, \quad (26)$$

де C_V , k_V , g , m , x , y – коефіцієнти та показники степеня вибирають по таблицях посібника [2] в залежності від виду матеріалу, виду різального інструменту тощо. T – період стійкості визначається також по таблицях в залежності від діаметру [2]. При застосуванні зенкерів з діаметром, більшим 60 мм, період стійкості знаходиться в межах 90... 120 хв. При свердлінні та зенкеруванні при діаметрі різального інструменту від 10 до 60 мм стійкість знаходиться в межах 8...110 хв. Швидкість також може бути вибрана по таблицях [2].

По допустимій швидкості різання розраховують частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V_{oon}}{\pi \cdot D}, \text{ (об/хв)}. \quad (27)$$

Користуючись паспортом верстату, визначають фактичну частоту обертання, вибираючи найближче менше чи рівне значення по паспорту верстату:

$$n_\phi = n_{насн} \leq n_{дійсн}. \quad (28)$$

По фактичній частоті обертання фрези підраховують фактичну швидкість різання:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000}, \text{ (м/хв)}. \quad (29)$$



Розраховують потужність:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n_{\phi}}{9750}. \quad (30)$$

Отримана потужність повинна бути менша або рівна потужності верстату, помноженій на коефіцієнт корисної дії:

$$N_e \leq N_{дв} \cdot \eta, \quad (31)$$

де $\eta = 0,80 \dots 0,85$ – коефіцієнт корисної дії.

Якщо нерівність не виконується, то повертаємося на початок розрахунку і зменшуємо подачу або швидкість різання. Після цього розрахунок повторюємо.

***Основний технологічний час при свердлінні,
розсвердлюванні, зенкеруванні та розвірчуванні***

Основний технологічний час – це час, який іде безпосередньо на знімання стружки і розраховується за формулою:

$$T_0 = \frac{L_{piз}}{n_{\phi} \cdot S_0^{\phi}} \cdot (\text{хв}), \quad (32)$$

де $L_{piз}$ – розрахункова довжина свердління, розсвердлювання, зенкерування та розвірчування (рис. 1.32)

$$L_{piз} = l_1 + l_2 + l_3, \quad (33)$$

де l_1 – довжина врізання, залежить від глибини різання t і кута ϕ на інструменті ($l_1 = t \cdot \text{ctg} \phi$); l – довжина обробки; l_2 – перебіг ін-



струменту.

$S_0 \leq l_2 \leq 2 \dots 3 \text{ мм}$, (S_0 – подача на один оберт, мм/об). При обробці глухих отворів $l_0 = 0$; n – частота обертання інструменту або заготовки, хв^{-1} .

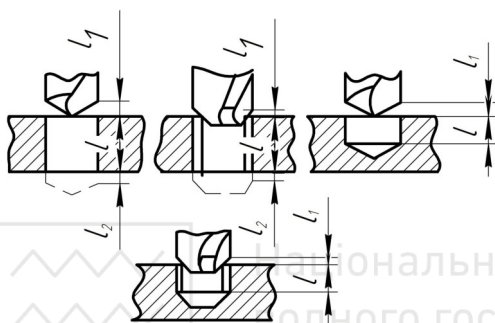


Рис. 132. Схеми визначення розрахункової довжини обробки

При свердлінні, розсвердлюванні, зенкеруванні та розвірчуванні отворів за декілька робочих ходів (i) формула основного технологічного часу набуває вигляд:

$$T_0 = \frac{L_{\text{різ}} \cdot i}{n_{\phi} \cdot S_0^{\phi}}, (\text{хв}). \quad (34)$$



8. Стругання та довбання – як один із методів обробки металів різанням

8.1. Типи стругальних і довбальних верстатів. 8.2. Схеми обробки струганням і довбанням. 8.3. Стругальні та довбальні різці. 8.4. Елементи режиму різання та площа зрізу. 8.5. Методика вибору режиму різання при струганні та довбанні. Основний технологічний час

Стругання та довбання використовують для обробки площин, різного виду пазів, фасонних поверхонь, нарізання зубів тощо.

Стругання – це процес обробки поверхонь різанням при прямолінійному зворотно-поступальному головному русі (D_r), який здійснюється різцем або заготовкою в горизонтальній площині. Довбання – це той же процес, де головний рух (D_r) – зворотно-поступальне переміщення різця, виконується в вертикальній площині. Необхідність частого реверсування великих мас сильно обмежує швидкість різання, яка може бути досягнута при струганні і довбанні, а наявність холостого ходу обмежує продуктивність різання. Але стругання і довбання дозволяє обробляти поверхні складних конфігурацій простим інструментом – різцем. Рух подачі (D_s) виконує заготовка, яка закріплена на столі, або різець, коли головний рух виконує заготовка.

Стругання та довбання набуло широкого використання в ремонтних і малосерійних виробництвах.

8.1. Типи стругальних і довбальних верстатів

Стругальні верстати поділяються на поперечно-стругальні (шепінги), поздовжньо-стругальні та вертикально-стругальні (довбальні).

Найбільш поширеними типами стругальної групи є 3, 2 і 4 тип, який мають в позначенні цифри 3, 2 і 4 (6МЗ6, 7212, 7420).

В поперечно-стругальних верстатах головний рух виконує рі-



зець, який закріплюється в супорті повзуна верстату, а рух подачі (поперечний) надається столу разом з деталлю. Ці верстати застосовуються для обробки зовнішньої поверхні малих і середніх по розмірах і вазі деталей.

Рух повзуна 1 зворотно-поступальний (рис. 133) і він поділяється на робочий (знімання припуску) і допоміжний (повертання повзуна в вихідне положення). Цей рух виконується механізмом куліси, яка качається і приводиться в рух за допомогою зубчатих передач від електродвигуна 2.

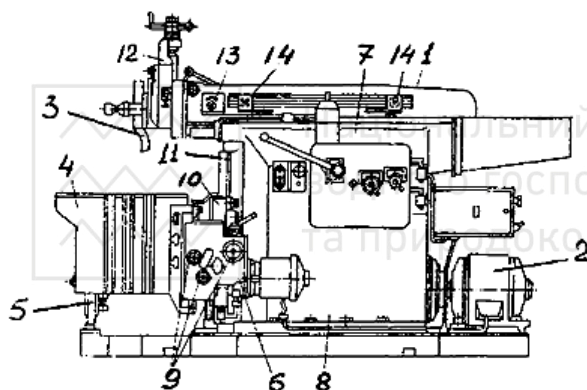


Рис. 133. Поперечно-стругальний верстат 6М36

Швидкість руху регулюється ступінчатою коробкою швидкостей, а хід повзуна – зміною радіусу кривошипу куліси. Різець 3 встановлюють в різцетримачі, який закріплений на відкидній планці. Для запобігання тертя різця по заготовці під час допоміжного ходу, різець відкидається разом з планкою відносно горизонтальної осі на невеликий кут. Заготовка закріплюється на столі 4 при поперечному струганні і переміщується з поперечним рухом подачі який виконується під час допоміжного ходу від кулісного колеса через механізм



подачі. Жорсткість системи верстату підвищується підпоркою 5, яка закріплена на столі верстату.

Для прискореного переміщення столу застосовується електропривод 6 з відповідними передаточними механізмами. Привід верстату виконується за рахунок гідравліки 7. Всі механізми верстату встановлені на станині 8. Механізм управління переміщенням столу 9 встановлений на каретці 10, яка переміщається по направляючих 11. Повзун 1 закінчується супортом 12, до якого кріпляться пластини з різцем 3. Механізм вертикальної подачі супорту 13 і рухомі упори 14, встановлені також на повзуні 1.

Поздовжньо-стругальні верстати застосовують для чорнкової і чистової обробки великих (більше 1 м) деталей. Для цих верстатів характерно зворотно-поступальне прямолінійне переміщення столу – головний рух різання (D_r). Швидкість столу під час робочого ходу постійна. Як правило, верстати мають декілька супортів, які виконують переривчасте поперечне переміщення – подачу (D_p). Одностоєчний поздовжньо-стругальний верстат має два-три супорти (два горизонтальних і один вертикальний), у двохстоєчних верстатах три-чотири супорти.

Двохстоєчний поздовжньо-стругальний верстат наведений на рис. 134.

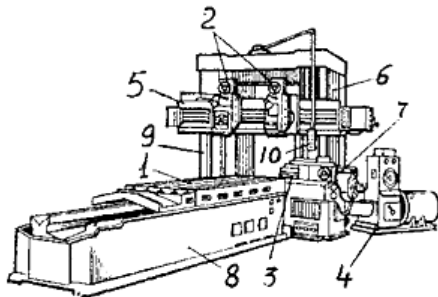


Рис. 134. Поздовжньо-стругальний верстат 7212



Заготовку встановлюють на столі 1 і затискають за допомогою різних пристроїв. Різці закріплюються на вертикальних супортах 2 і бічному супорті 3. Головний рух переміщення столу 1 з заготовкою передається від електродвигуна постійного струму 4 через коробку швидкостей. Ці верстати мають електропривід, який забезпечує безступінчаті і незалежне регулювання швидкості робочого і допоміжного ходу столу. Для забезпечення більшій продуктивності верстатів, допоміжний хід має більшу швидкість ніж робочий.

Після кожного подвійного ходу столу з заготовкою супорти з різцями виконують переривчастий рух подачі. Таким чином може виконуватись обробка одночасно декількох горизонтальних і вертикальних поверхонь заготовки. Вертикальні супорти переміщуються по траверсі 5, а бічний супорт – по вертикальній стійці 6. Переміщення супортів виконується від окремих двигунів подачі через черв'ячну пару та зубчаті передачі 7.

Всі вузли верстату змонтовані на станині коробчатого типу 8, вертикальних стійок 9 і 6 з направляючими для траверси і бічного супорту. Стійки з'єднанні між собою перекладиною. Управління верстатом виконується кнопчним пультом 10.

Процес різання на повздовжньо-стругальному верстаті виконується по наступній схемі: повільне врізання різця в заготовці, яка обробляється; розгін заготовки до встановленої швидкості різання; різання з встановленою швидкістю робочого ходу; зменшення швидкості руху столу перед виходом різця із заготовки; швидке повернення столу з встановленою швидкістю допоміжного ходу; подача супортів на наступний цикл різання.

Довбальні верстати застосовуються головним чином для прорізання шпонкових канавок, шліців, обробки багатограних і фасонного профілю отворів, рідше для зовнішньої обробки деталей.

Головним рухом довбального верстату є вертикальне зворотно-поступальне прямолінійне переміщення довбця з різцем. Рух подачі в поздовжньому, поперечному чи круговому напрямках отримує стіл з деталлю, яка обробляється. Рух довбця надається за допомогою механічного приводу кулісою, яка обертається, або гідроприводом.



Крім універсальних довбальних верстатів, для потреб інструментальних цехів випускаються спеціальні (пуансонні) верстати, які служать для обробки пуансонів вирубних штампів. Особливістю цих верстатів є складний рух різця, який на основній частині шляху є прямолінійним, а в кінці ходу виконується по дузі кола.

При зовнішньому довбанні, наприклад канавок зубчатих коліс, максимальні розміри заготовки можуть в декілька разів перевищувати діаметр столу верстату, який у серійних верстатів не перевищує 800 мм. Висота заготовки обмежується верхньою мертвою точкою інструменту, який закріплений на повзуні. Висота заготовки не перевищує 0,75 ходу різця (довбняка). Хід довбняка у різних верстатів складає 200...500 мм.

Загальний вигляд довбального верстату наведений на рис. 135.

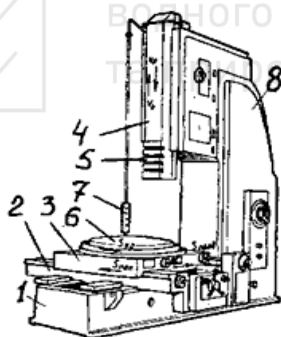


Рис. 135. Довбальний верстат

На станині 1 з направляючими розміщені салазки 2 і 3 з столом 6, який може виконувати переривчатий рух подачі в поздо-



вжньому, поперечному та коловому напрямках за рахунок обертання столу навколо своєї вертикальної осі. Прискорене переміщення заготовки в усіх напрямках виконується окремими електродвигунами. Головний рух переміщення довбального верстату виконує повзун 4 з різцетримачем 5. Повзун має можливість переміщуватись по направляючій стійці 8. Таким чином, зворотно-поступальний рух різання виконує повзун з різцем. Різець зрізує припуск при русі повзуна зверху вниз і повертається знову вверху при допоміжному ході повзуна. Головне зворотно-поступальне переміщення повзуна в верстатах з механічним приводом виконується механізмом куліси, яка обертається, а в верстатах з гідроприводом – гідроциліндром. Цей рух – вертикальний, але в деяких моделях верстатів повзун може повертатися на кут $5 \dots 30^\circ$, що дозволяє обробляти похилі поверхні.

Величина ходу повзуна і його зона руху регулюється в залежності від виду обробки. Управління верстатом виконується від кнопочного пульта 7.

8.2. Схеми обробки струганням і довбанням

При струганні сили різання діють на різець тільки в період робочого ходу, а в період допоміжного ходу проходить його охолодження, що збільшує його стійкість. Кожне врізання при струганні супроводжується ударним навантаженням. Це навантаження залежить від швидкості врізання, поперечного перерізу зрізуваного шару, геометричних параметрів різця і міцнісних характеристик матеріалу, який обробляється.

Схеми різання на поперечно-стругальних і поздовжньо-стругальних верстатах наведені на рис. 136.

Схема різання на поперечно-стругальному верстаті наведена на рис. 136, а. Різець 1 виконує головний рух різання (D_r) і повертається в попереднє положення (D_{xx}), а головний рух подачі (D_s) – заготовка. Схема різання на поздовжньо-стругальному верстаті наведено на рис. 136, б. Головний рух різання (D_r) виконує заготовка 2 і повертається в попереднє положення – (D_{xx}). Головний рух подачі (D_s) виконує різець 1.

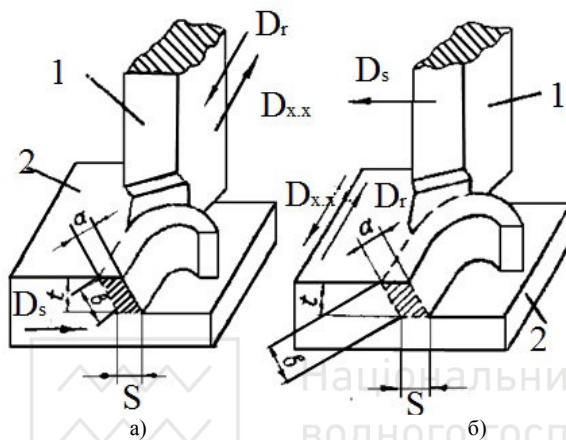


Рис. 136. Схеми стругання:

а – на поперечно-стругальному; б – на поздовжньо-стругальному верстаті

Схема різання на довбальному верстаті наведена на рис. 137.

У довбальних верстатів різець 1 виконує зворотно-поступальний рух у вертикальній площині. Рух різця вниз є робочим (D_r), а вверх – допоміжний хід (D_{xx}).

Швидкість допоміжного (холостого) ходу кінематично зв'язана зі швидкістю різання і не може значно перевищувати швидкість робочого ходу (у верстаті з механічним приводом). Головний рух подачі виконує заготовка 2 і він може бути поздовжнім, поперечним і коловим. Подача при довбанні, як і при струганні, є подачею на подвійний хід інструменту (мм/под. хід). Швидкість різання повинна бути невеликою так як зворотно-поступальне переміщення великих мас при струганні (повзун чи заготовка) викликає дію великих інерційних сил, що утворює тяжкі умови різання. При чистовому струганні широким різцем чистота поверхні може досягати 6...7^{то} класів.

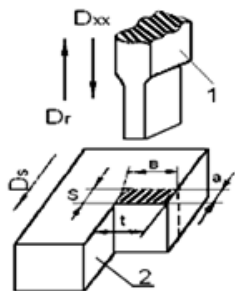


Рис. 137. Схема довбання

8.3. Стругальні та довбальні різці

Стругальні різці (рис. 138) по конструкції подібні токарним, але мають більший поперечний переріз, так як працюють з перемінним навантаженням.

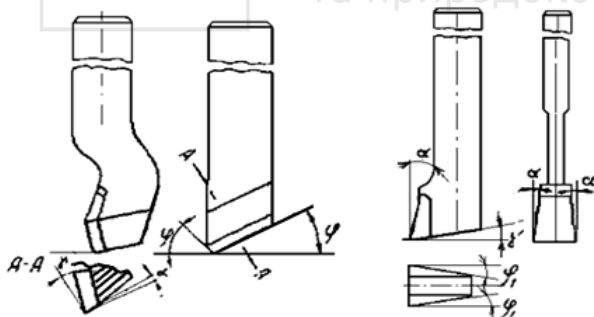


Рис. 138. Стругальні різці



Для обробки сталевих виливків і для запобігання заклинювання стругальні різці роблять зігнутими (рис. 139), для того щоб при зустрічі з твердими включеннями різець відхилився і не врзувався в уже оброблену поверхню. При прямому стержні сила різання згинає різець навколо т. О (рис. 139), що викликає врізання різця в заготовку. При зігнутому стержні це врізання зменшується, а при знаходженні вершини різця в опорній площині його не буде, так як радіус вигину рівний вильоту різця h . Номенклатура стругальних різців велика, але найбільш поширеними є: прохідні, підрізні, відрізні та фасонні. Різці для стругальних верстатів виготовляють із швидкорізальної сталі Р12, Р6М3, для важкооброблюваних матеріалів із сталей Р9М4К8Ф, Р9К10 і твердих сплавів ВК6, ВК8, Т5К10, Т15К6 тощо.

Геометричні параметри стругальних різців ті ж, що і токарних, але основна площина в них вертикальна, а площина різання – горизонтальна.

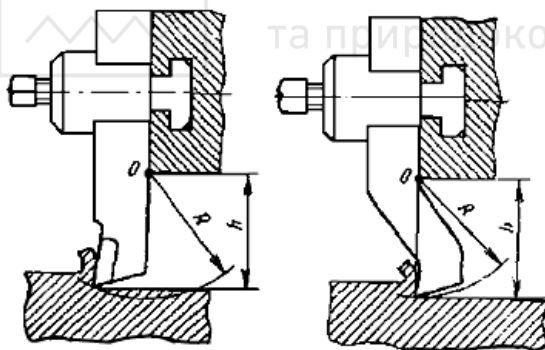


Рис. 139. Обґрунтування відігнутості стругальних різців



Стругальними різцями обробляють різні поверхні (рис. 140).

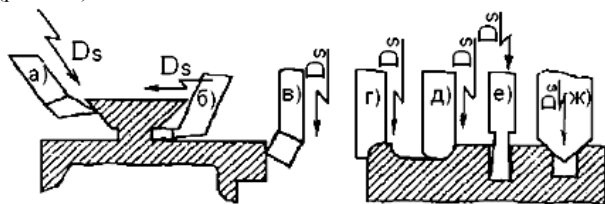


Рис. 140. Види поверхонь які обробляються на стругальних верстатах:

*а – ластівчин хвіст; б, е – канавки; в – вертикальні площини;
г, д – фасонні поверхні; ж – фаски*

У довбального різця поверхня А є передньою поверхнею, а поверхня Б – задньою (рис. 141).

Геометричні параметри різальної частини стругальних різців вибираються такими ж як і токарні: передній кут γ , задній кут α , кут нахилу різальної кромки λ , головний кут в плані ϕ , допоміжний кут в плані ϕ_1 . Кут λ найбільш важливий для стругальних різців, для збереження їх вершини, зменшення впливу удару та для плавності входу різця в заготовку. В зв'язку з тим, що стругальні різці працюють з ударом, передній кут у них на $5-10^\circ$ менше, ніж у токарних. У різців, які оснащені пластинами із твердого сплаву, передній кут беруть від 0 до -15° в залежності від міцності матеріалу, який обробляється.

Задній кут $\lambda = 8...15^\circ$. Головний кут в плані ϕ у прохідних різців $30...75^\circ$. Для запобігання руйнуванню і швидкого зношування леза у стругальних різців по передній поверхні передбачена стрічка, чисельно рівна $(0,8...1) S$. Передній кут на стрічці $\gamma_1 = +5^\circ$ для різців з швидкорізальної сталі $\gamma_1 = -5...-15^\circ$ для твердосплавних різців.

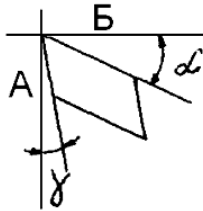


Рис. 141. Поверхні довбального різця

8.4. Елементи режиму різання та площа різізу

До елементів режиму різання при струганні та довбанні відносяться: глибина, подача та швидкість різання. Глибина різання t (мм) – це товщина шару металу, який знімається за один прохід. Глибина зв'язана з припуском на механічну обробку. При довбанні глибина різання рівна ширині різця (рис. 137). Чим менша глибина різання, тим вища чистота обробленої поверхні. Якщо при струганні немає лімітуючих факторів, то глибина різання при напівчистовій обробці $t = 1 \dots 2$ мм, а при чистовій $t = 0,2 \dots 1$ мм. При зніманні великих припусків і роботі на верстатах невеликої потужності припуск розбивають на декілька частин, залишаючи на останній прохід мінімально можливу глибину.

Подача S (мм/под.хід) при струганні на поперечно-стругальному верстаті та довбанні – величина переміщення деталі в мм за один подвійний хід різця. Подача на поздовжньо-стругальному верстаті – переміщення різця в мм за подвійний хід столу (рис. 136). В залежності від вимог до шорсткості обробленої поверхні при струганні звичайним різцем подача (мм/под.хід) при чистовій обробці може бути вибрана в залежності $S = (t/5 \dots t/10)$. При чорновій обробці чавунних заготовок різцями з твердосплавними пластинами, подача може бути призначена до 5 мм/под.хід, якщо відсутні обмеження по силі різання і по жорсткості заготовки. При обробці площин спеціальним напівчистовим різцем з шириною різальної кромки до



150 мм подача може бути до 100 мм/под.хід. Рекомендовані подачі при струганні та довбанні для різних різців і умов різання наведені в таблицях лабораторного практикуму по різанню [2].

Швидкість різання V (м/хв) – це швидкість переміщення точки різальної кромки різця. При струганні та довбанні швидкість різання розраховують по відповідних емпіричних формулах для точіння з урахуванням поправочного коефіцієнта K_ϕ , який враховує ударне навантаження:

$$V_{\phi\phi\phi} = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V \cdot K_\phi, \quad (1)$$

де C_V , m , x , y , K_V – коефіцієнти і показники степенів, які залежать від виду різця, матеріалу різальної кромки, операції, наведені в таблицях посібника [2]. Коефіцієнт K_ϕ для поздовжньо-стругального верстату 1,0, поперечно-стругального – $K_\phi = 0,8$; довбального – $K_\phi = 0,6$. Швидкість різання обмежується умовами обробки, матеріалом, який оброблюється, інструментальним матеріалом, жорсткістю системи верстат – пристрій – інструмент – заготовка. На сучасних стругальних і довбальних верстатах швидкість різання досягає 0,1...0,6 м/с.

Площа зрізу

На рис. 136, 137 показано положення різця в процесі різання і пунктирною лінією площу зрізу (мм²). Основними елементами зрізуваного шару є: ширина (b), товщина (a), глибина різання (t) і подача S_ϕ . Так як переріз зрізуваного шару є паралелограм, то його площа визначається за залежністю:

$$f = S \cdot t = a \cdot b. \quad (2)$$



8.5. Методика вибору режиму різання при струганні та дованні. Основний технологічний час

Глибину різання t (мм) вибирають в залежності від припуску на обробку і назначають кількість проходів в залежності від чистоти поверхні. Наприклад, для чавуну при напівчистовій обробці глибина назначається до 2 мм, чистова обробка – 0,15...0,3 мм, останній прохід – 0,05...0,1 мм [2].

За таблицями [2] вибираємо табличну подачу $S^{табл}$, в залежності від виду матеріалу різця, матеріалу заготовки та геометрії різця.

Визначаємо фактичну подачу, вибираючи найближче значення по паспорту верстату, при цьому необхідно щоб виконувалась така рівність:

$$S_{zx}^{\Phi} = S_{zx}^{насп} \leq S_{zx}^{табл}. \quad (3)$$

Допустиму швидкість різання визначають за формулою:

$$V_{дон} = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S_{zx}^y} \cdot K_V \cdot K_D, (м/хв), \quad (4)$$

де C_V , m , x , y , K_V , K_D – коефіцієнти і показники степеня, які залежать від виду різця, матеріалу різальної кромки та заготовки, наведені в таблицях [2].

Розраховують кількість подвійних ходів за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V_{дон}}{L_n \cdot (1 + m)}, \quad (5)$$

де L_n – довжина ходу повзуна, (мм); m – коефіцієнт, який враховує відношення швидкості робочого та холостого ходу повзуна ($m = 0,75$).

Визначають фактичну кількість подвійних ходів, вибираючи найближче менше чи рівне значення по паспорту верстату:

$$n^{\Phi} = n^{насп} \leq n. \quad (6)$$



Розраховують силу різання по емпіричній формулі так як і при точінні:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t_1^x \cdot S_{2x}^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (7)$$

де K_p – поправочний коефіцієнт, який чисельно рівний добутку коефіцієнтів, що враховують умови обробки і які не ввійшли в коефіцієнт C_p .

Вибраний режим різання перевіряють по потужності, яку розраховують за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60}, \quad (\text{кВт}). \quad (8)$$

Отриману потужність зрівнюють з потужністю верстату:

$$N_e \leq N_{\text{ов}} \cdot \eta, \quad (9)$$

де η – коефіцієнт корисної дії стругальних і довбальних верстатів.

Якщо остання нерівність не справджується, то повертаємось на початок розрахунку і зменшуємо один із елементів режиму різання. Після цього розрахунок повторюємо.

Основний технологічний час при струганні та довбанні

Основний технологічний час – це час який іде безпосередньо на знімання стружки і визначається він за залежністю:

$$T_0 = \frac{L \cdot i}{n^\phi \cdot S_{2x}^\phi}, \quad (10)$$

де L – розрахункова довжина стругання; S_{2x}^ϕ – фактична подача, мм/под.хід; n^ϕ – фактичне число подвійних ходів за хвилину; i – число проходів.



$$L = l + l_1 + l_2, \quad (11)$$

де l – довжина обробленої поверхні; l_1 і l_2 – величина шляху врізання та перебігу різця ($l_1 = l_2 = 2 \dots 5$ мм). Величина врізання при роботі різцями визначається за формулою:

$$l_1 = \frac{t}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (12)$$

де t – глибина різання, мм; φ – головний кут в плані, град.





9. Шліфування – як один із методів обробки металів різанням

9.1. Типи шліфувальних верстатів. 9.2. Зв'язка, зернистість і твердість абразивних інструментів. Маркування. 9.3. Види шліфування. 9.4. Стійкість шліфувального круга. 9.5. Елементи процесу різання при шліфуванні. 9.6. Сили різання і потужність. 9.7. Методика вибору режиму різання при шліфуванні. Основний технологічний час.

Шліфування – це процес обробки поверхонь абразивним (шліфувальним) інструментом, найчастіше шліфувальними кругами. Використовуються також шліфувальні бруски, шкурки, шліфувальні матеріали у вигляді порошоків і паст.

Шліфувальний круг складається з великої кількості гострих і твердих абразивних зерен, які зв'язані між собою спеціальною масою – зв'язкою. Процес різання шліфувальним кругом можна розглядати як різання фрезою з великою кількістю малих зубів. Абразивні зерна знаходяться на периферії круга та працюють як зуб фрези, знімаючи стружку перемінного перерізу. Особливостями шліфувального круга, порівняно з іншими різальними інструментами є, з одного боку дуже висока твердість зубів (зерен), а з другого боку – їх властивість до самозаточування, яке проходить завдяки тому, що зерна, які затупилися на поверхні круга викиршуються, а в роботу вступають нові більш гострі зерна.

Найчастіше шліфування застосовується для кінцевої чистової обробки. Шліфуванням досягається 8...10 клас чистоти поверхні. Шліфуванням можна обробляти, як дуже м'які так і найтвердіші матеріали, включаючи загартовані сталі, тверді сплави, неметалічні матеріали (мрамор, камінь, скло тощо).

На шліфувальних верстатах можуть бути оброблені всі види зовнішніх і внутрішніх поверхонь – циліндричні, конічні, торцеві, фасонні та гвинтові.



9.1. Типи шліфувальних верстатів

В групі шліфувальних верстатів існує найбільша кількість типорозмірів верстатів. Це пояснюється тим, що кожний тип верстату служить для обробки обмеженої номенклатури виробів і видів поверхонь, в той же час група повинна забезпечувати кінцеву обробку всіх видів виробів і всіх видів поверхонь. Основними типами шліфувальних верстатів є круглошліфувальні, внутрішньошліфувальні, плоскошліфувальні, фасонношліфувальні, заточні та доводочні. Відповідно, в позначенні верстату крім першої цифри 3, що означає групу верстату, є цифри: 1 – круглошліфувальні, 2 – внутрішньошліфувальні, 7 – плоскошліфувальні, 6 – заточні тощо.

Круглошліфувальний верстат застосовується для обробки зовнішніх циліндричних, похилих, конічних і торцевих поверхонь. Найбільш типовим представником верстатів цього типу є 3А151. Загальний вигляд цього верстату наведений на рис. 142.

Основні вузли верстату змонтовані на станині 1 по напрямляючих якої переміщуються верхній і нижній стіл 2, який має можливість повертатись, на верхньому столі встановлена передня 3 і задня бабки 4. Шпиндель передньої бабки нерухомий. Обертання заготовки забезпечується планшайбою та поводом, планшайба приводиться в рух клинопасовою передачею від двигуна постійного струму. На станині в тильній її частині розміщена шліфувальна бабка 5. Стіл отримує від гідроприводу, який вмонтований в станині верстату, прямолінійний зворотно-поступальний рух. Привід виробу та привід шліфувального круга виконується від окремих електродвигунів. Шліфувальна бабка може переміщуватися в поперечному (радіальному) напрямку як механічно, так і вручну. Для шліфування похилих конусів верхній стіл разом з бабками може повертатися в межах $\pm 10^\circ$ по відношенню до поздовжніх направляючих станини.

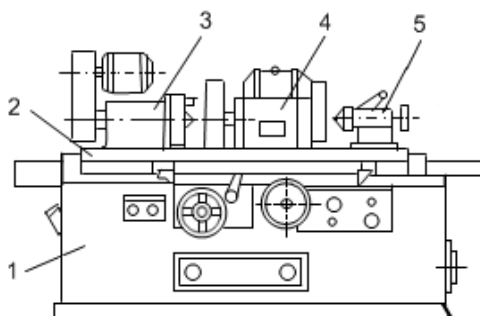


Рис. 142. Круглошліфувальний верстат

До першого типу верстатів відносяться і безцентрові круглошліфувальні верстати моделей 3180, 3Б180, 3181, які використовуються тільки для шліфування зовнішніх поверхонь обертання в умовах масового виробництва. Загальний вигляд цього верстату наведено на рис. 143.

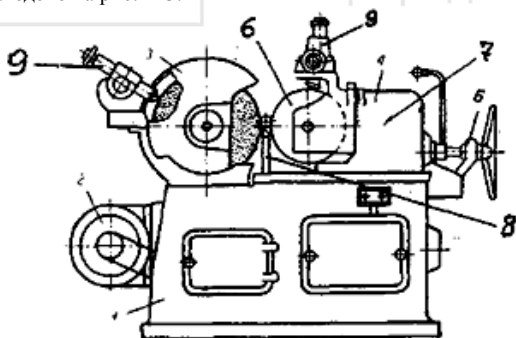


Рис. 143. Безцентровий круглошліфувальний верстат



Шліфувальний, великий за розмірами круг 3, отримує обертання з постійним числом обертів безпосередньо від приводу електродвигуна 2. Ведучий, менший круг 6, приводиться в обертання через коробку швидкостей 4, яка забезпечує можливість в відповідності з вибраним режимом міняти його число обертів. В взаємодії з бабкою ведучого круга 7 знаходиться механізм подачі бабки 5. Між кругами розміщується опорний ніж 8. Над кругами змонтовані пристрої для алмазної правки 9. Всі вузли змонтовані на станині 1.

Внутрішньошліфувальний верстат служить для обробки внутрішніх циліндричних, конічних і торцевих поверхонь. Загальний вигляд цього верстату наведений на рис. 144.

Ці верстати бувають двох видів: 1 – верстати, в яких обертається шпиндель з шліфувальним кругом і заготовка; 2 – верстати, в яких заготовка нерухома, а шліфувальний круг поряд з обертанням отримує рух по твірній отвору, який обробляється (верстати планетарного типу).

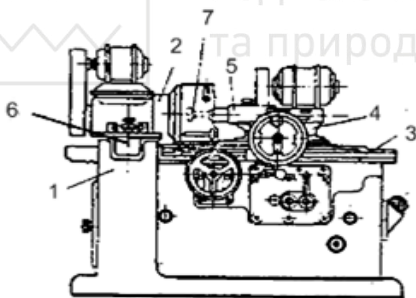


Рис. 144. Внутрішньошліфувальний верстат

Внутрішньошліфувальні верстати обробляють отвори діаметром 3...800 мм. Найбільш типовим представником верстатів цього типу є 3А252.

На станині 1 встановлено міст 6 з шпиндельною бабкою 2.



Шпиндельна бабка переміщається під час налагодження верстату в поперечному напрямку по направляючих мостах. Пристрій для шліфування торців також встановлений на корпусі бабки виробу. Стіл 5 з супортом 4 і шпиндельною бабкою 3 виконує зворотно – поступальний рух по направляючих станини. Шпиндельна бабка може повертатись на кут до 45° , що дозволяє обробляти внутрішні конусні поверхні. Шліфувальний круг закріплюється на кінці видовженого шпинделя 7 і отримує високе число обертів до 10000 об/хв і вище.

Планетарні шліфувальні верстати служать для обробки великогабаритних деталей. В цих верстатах деталь закріплюється нерухомо на столі, а всі необхідні рухи – як головний, так і рух подачі – виконує шліфувальний круг.

Плоскошліфувальні верстати. Ці верстати випускаються з прямокутним або круглим столом. Останні застосовуються для безперервного шліфування, як правило в умовах масового виробництва. Кожний із цих типів плоскошліфувальних верстатів в свою чергу поділяються на верстати, які працюють периферією круга, і на верстати, які працюють торцем круга. Найбільш типовим представником верстатів цього типу є плоскошліфувальний верстат 3Г71 з прямокутним столом і горизонтальною віссю шпинделя.

На рис. 145 наведено загальний вигляд плоскошліфувального верстату.

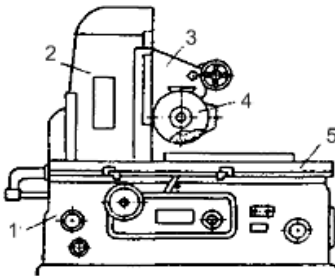


Рис. 145. Плоскошліфувальний верстат



Він складається із станини 1, столу з магнітною плитою 5, стійки 2, шліфувальної бабки 3. Деталі закріплюються безпосередньо на столі або на магнітній плиті і одночасно з столом отримують від гідроприводу прямолінійний зворотно – поступальний рух. Вся шліфувальна бабка 3 разом з кареткою 4, яка несе шліфувальний круг, переміщується по вертикальним напрямляючій стійці і встановлюються в відповідності з висотою деталі, яка шліфується. Вертикальна подача бабки в процесі шліфування може виконуватися як вручну, так і механічно. Каретка з шліфувальним кругом може переміщуватися в поперечному напрямку від гідроприводу чи вручну.

Особливий тип шліфувальних верстатів займають заточні верстати, які служать для заточки різних видів різальних інструментів: різців, фрез, розверток, мітчиків, протяжок, зенкерів, пил тощо.

Найбільш типовим представником цього типу верстатів є 3А64. На рис. 146 наведено загальний вигляд цього верстату.

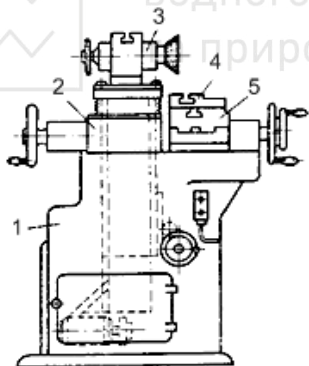


Рис. 146. Заточний верстат

Він складається із станини 1, поперечних салазок 2, шліфувальної бабки 3, столу 4, поздовжніх салазок 5. Стіл має поперечне та поздовжнє переміщення. В поздовжньому напрямку стіл пе-



реміщається по направляючих кочення, що робить хід легким. В комплект верстату входить велика кількість пристроїв: центрувальні бабки, поворотні головки, упори тощо.

9.2. Зв'язка, зернистість і твердість абразивних інструментів. Маркування

При виготовленні шліфувальних кругів і брусків абразивні зерна з'єднуються зв'язуючою речовиною або зв'язкою. Вона буває неорганічна (керамічна, магнезійна та силікатна), органічна (бакелітова та вулканітова) і металева.

Керамічна зв'язка виготовляється з вогнетривкої глини, польового шпату, кварцу, тальку, крейди та рідкого скла. Круги на керамічній зв'язці мають високу міцність, вогнетривкість, їм властиві хімічна стійкість, вони не бояться вологи, добре утримують профіль. Ці круги найбільш поширені. До їх недоліків слід віднести велику крихкість. В маркуванні шліфувальних кругів входить буква К, що означає керамічну зв'язку.

Бакелітова зв'язка – це штучна смола, яку отримують з карбонової кислоти та формаліну. Абразивні інструменти на бакелітовій зв'язці пресують в формах, після чого термічно обробляють. Круги на бакелітовій зв'язці міцні, еластичні і можуть працювати при великих швидкостях. Їх використовують при відрізанні, прорізанні канавок і без центровому шліфуванні деталей. Недолік той, що вони руйнуються від дії лужної охолоджуючої рідини. Крім того, при температурі більшій 180...200° С міцність їх різко знижується. В маркуванні шліфувальних кругів входить буква Б, що означає бакелітову зв'язку.

Вулканітова зв'язка складається із 70% каучуку і 30% сірки. Круги на цій основі міцні, еластичні та витримують колосальну швидкість до 75 м/с. Вони використовуються при відрізанні, прорізанні та безцентровому шліфуванні. Недоліком шліфувальних кругів на цій основі є їх низька теплостійкість. При температурі вище 150...200° С вони гублять свою міцність. Тому при роботі використовують сильне охолодження. В маркуванні шліфувальних кругів входить буква В, що означає вулканітову зв'язку.



Магнезіальна зв'язка – це магнезит і хлористий кальцій.

Силікатна зв'язка – рідке скло та кремнієвий пил. Використовуються круги на цій основі для заточки інструментів і для плоского шліфування. Відповідно в маркуваннях кругів входить буква М і С, що означає магнезіальну та силікатну зв'язку.

Алмазні та ельборові круги найчастіше виготовляють на металевій зв'язці, яка також маркується великою буквою М.

Маркування

В умовне позначення абразивного інструменту входить: назва (круг, шліфувальна головка, брусок, диск, стрічка, шкурка тощо), марка та зернистість абразиву, концентрація, марка зв'язки, твердість, маса абразиву, номер структури, допустима робоча швидкість, номер інструменту, рік виготовлення, позначення стандарту.

Наприклад:

ПП D x H x d24A 10 П C2 7 K5 35 м/с А1 кл. ГОСТ 2424–83

Круг шліфувальний типу ПП з розмірами $D \times H \times d$, з білого електрокорунду марки 24А зернистістю 10–П, ступенем твердості С2, з структурою № 7, на керамічній зв'язці К5, з робочою швидкістю 35 м/с, клас точності А, 1-го класу незрівноваженості, (ГОСТ 2424–83).

Зернистість абразивних матеріалів

Абразивні матеріали, які наведені в розділі 1.4, характеризуються розміром зерен. Зернистість шліфувального круга вибирається в залежності від властивостей матеріалу, який обробляється за технологічних потреб (шорсткості і точності). При чорновому шліфуванні використовують шліфувальні круги з відносно більш великим зерном. При обробці в'язких матеріалів вибирають шліфувальні круги також більш великої зернистості, чим при обробці твердих і крихких матеріалів, для того щоб абразивний круг не "засалювався" (забивалися пори). При використанні великозернистих кругів отримуємо більшу продуктивність праці, але необхідність отримувати більш високий клас чистоти поверхні потребує використання малозернистого абразивного інструменту.



По зернистості абразивні матеріали поділяються на шліфзерно (160...2500 мкм), шліфпорошки (28...160 мкм), мікропорошки (10...63 мкм) і тонкі мікропорошки (менше 10 мкм). Зернистість шліфувального матеріалу на абразивному інструменті вказує в десятках мікрметрів, наприклад зернистість 40 означає середній розмір зерна 400 мкм. Мікропорошки позначаються – М63...М14, або тонкі мікропорошки – М10...М5.

Зернистість абразивного інструменту вибирають в залежності від умов обробки. Зернистість 160 і більше використовується при обдиральному силовому шліфуванні; 125...8 – при обдиральних операціях, при зачистці виливок, поковок, штампувальних і других заготовок; 80...50 – при плоскому шліфуванні торцем круга, заточці середніх і великих різців, правці абразивного інструменту, відрізці; 63...25 – при попередньому і комбінованому шліфуванні, заточці різального інструменту; 32...16 – при чистовому шліфуванні, обробці профільних поверхонь, заточці дрібного інструменту, шліфуванні крихких матеріалів; 12...6 – при оздоблювальному шліфуванні, доводці твердих сплавів, доводці різального інструменту, попередньому хонінгуванні, заточці тонких лез; 6...4 – при оздоблювальному шліфуванні металів, скла, мармура тощо, різбошліфуванні, чистовому хонінгуванні; М40 і дрібніше – при супершліфуванні, кінцевому хонінгуванні, доводці тонких лез вимірювальних поверхонь калібрів, різбошліфування виробів з дрібним кроком.

Твердість абразивного інструменту – це здатність зв'язки протистояти вириванню абразивних зерен в процесі різання. Чим вище степінь твердості, тим міцніше зв'язок між абразивними зернами в інструменті. Чим вища твердість тим менше пор в зв'язці. Таким чином абразивні інструменти на одній і тій же основі із одним і тим же абразивним матеріалом можуть мати різну твердість. Збільшення чи зменшення об'єму зв'язки на 1,5% приводить до зміни твердості на одну ступінь.

Абразивні інструменти по твердості можна поділити на: НТ – надмірно тверді, НМ – надмірно м'які, ВМ – вельми (дуже) м'які, М – м'які, СМ – середньом'які, С – середні, СТ – середньо-тверді, Т – тверді і ВТ – вельми (дуже) тверді. Кожна ступінь твердості має декілька підгруп і на маркуванні круга ступінь



твердості вказується індексом, наприклад СТ2, НТ5 тощо.

При виборі абразивного інструменту необхідно враховувати, що в надмірно твердому крузі зерна, які затупились залишаються в інструменті, при цьому погіршуючи параметри якості обробленої поверхні. А в надмірно м'якому крузі зерна, які ще не затупились можуть вириватися із зв'язки, збільшуючи розхід інструменту.

В маркування абразивних інструментів входить також і структура. Яка характеризує відсоткове співвідношення трьох основних фазових складаючих: зерен, зв'язки та пор. Структури абразивних інструментів позначаються номерами від 0 до 20, і поділяються на закриті (1-4), середні (5-8) і відкриті (9-12). Структури 13-20 – високопористі. Наприклад, у інструменту з структурою 0 об'ємна концентрація зерен 62%, з структурою 20-22%. З збільшенням структури на один номер, об'єм зерен в інструменті зменшується на 2%, а об'єм зв'язки збільшується на 2% при незмінному сумарному об'ємі пор.

На даний час існує 21 структура абразивних інструментів (табл. 9.1).

Абразивні інструменти щільної структури застосовуються для знімання малого припуску на механічну обробку. 0-3 структура застосовується для доводки прецизійного шліфування.

Основні операції виконуються інструментами середніх структур (5, 6, 7 і 8). З підвищенням номера структури відстань між зернами збільшується, краще відводиться стружка, охолоджуюча рідина легко проникає в зону різання. Відповідно можна працювати на підвищених режимах різання.

Абразивні інструменти з відкритою структурою швидко втрачають форму профілю і мають меншу міцність. Для врізного шліфування застосовують високопористі круги (пори по розмірах більші за зерна). Такі пори отримують завдяки вигоранню при термічній обробці різних добавок (пластмаси, тирси, вугілля тощо).



Таблиця 9.1

Залежність об'єму зерен від номера структури

Структура							
Щільна		Середня		Відкрита		Дуже відкрита	
№	Об'єм зерен, %	№	Об'єм зерен, %	№	Об'єм зерен, %	№	Об'єм зерен, %
0	62	5	52	9	44	13-14	36-34
1	60	6	50	10	42	15-16	32-30
2	58	7	48	11	40	17-18	28-26
3	56	8	46	12	38	19-20	24-22
4	54						

По класу точності абразивні інструменти виготовляються трьох класів: АА, А і Б. По незрівноваженості абразивні круги випускаються чотирьох класів: 1, 2, 3 і 4. Круги класу точності АА повинні відповідати 1-му класу незрівноваженості, круги класу точності А – 1-му чи 2-му, а круги класу точності Б – 1, 2 або 3-му класу незрівноваженості. Клас незрівноваженості кругів із ельбора на керамічних зв'язках повинен бути 1-м або 2-м.

Таким чином в маркування абразивного інструменту входить: тип кругу і його розміри, табл. 3.2, 3.4 [2], марки абразивного матеріалу, табл. 3.1 [2], зернистість і індекс зернистості, твердість, структура, зв'язка, допустима колова швидкість, клас точності та клас незрівноваженості.

9.3. Види шліфування

Найбільш поширеними видами шліфування є: зовнішнє кругле, плоске (торцем і периферією кругу), безцентрове, профільне (зубошліфування, різьбошліфування та шліцешліфування) і швидкісне.

Зовнішнє кругле шліфування (рис. 147) з поздовжньою подачею відбувається при обертанні в один бік шліфувального кругу та деталі, яка обробляється. Крім цього, деталь чи круг має поздовжнє переміщення паралельно осі обертання кругу чи деталі. В кінці одинарного чи подвійного проходу шліфувальний круг



отримує поперечне переміщення на глибину різання. По цій схемі обробляють відносно довгі деталі. В залежності від напрямку поступального руху подачі розрізняють декілька видів круглого шліфування: глибинне, врізне та шліфування уступами.

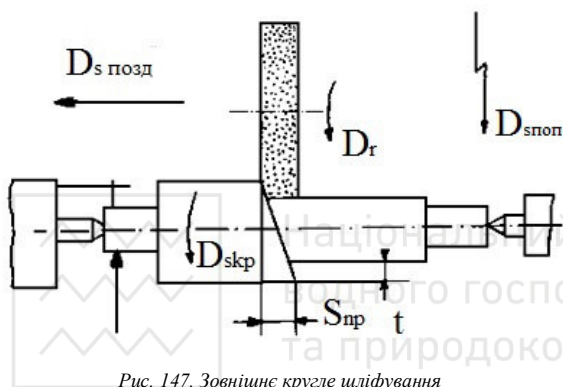


Рис. 147. Зовнішнє кругле шліфування

Шліфування з поперечною подачею (врізне) застосовують для деталей у яких довжина поверхні, яка обробляється, менша або рівна ширині B круга (рис. 148).

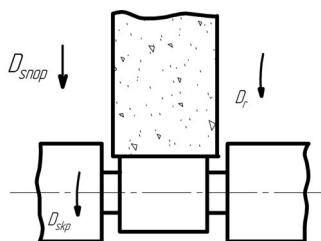


Рис. 148. Врізне шліфування



Зовнішні поверхні обертання можуть бути оброблені попередньо чистовим і тонким шліфуванням. Попереднє шліфування дає 8...10 квалітети і $R_a = 6,3...0,63$ мкм, тонке – 5...6 квалітети і $R_a = 0,63...0,08$ мкм.

При круглому шліфуванні круг і деталь обертаються назустріч (рис. 149).

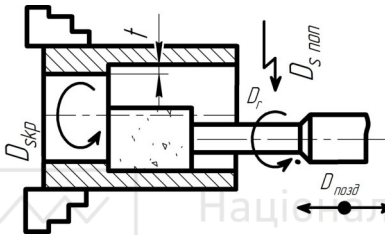


Рис. 149. Внутрішнє кругле шліфування

Крім цього круг має зворотно-поступальний рух подачі і поперечну подачу (на глибину різання в кінці кожного подвійного ходу). Умови різання при круглому внутрішньому шліфуванні гірші ніж при зовнішньому (менше жорсткість шпинделя, більша довжина контакту круга та деталі). Тому параметри режиму різання беруть в 1, 5...2 рази менші чим при зовнішньому шліфуванні.

Отвори при попередньому шліфуванні можуть оброблятися по 9...10 квалітетах і $R_a = 6,3...0,63$ мкм, при чистовому – 7...9 квалітетах $R_a = 1,25...0,32$ мкм.

Плоске шліфування може виконуватись як торцем круга так і периферією (рис. 150). Шліфувальному кругу надається головний рух обертання, а деталі – зворотно-поступальний рух подачі, крім цього, після кожного подвійного ходу – переміщення в поперечному напрямі.

При плоскому шліфуванні периферією круга забезпечується найбільш висока точність обробки, кращі показники якості по-



верхні, можливість обробки заготовок малої шорсткості. Шліфування периферією круга забезпечує шорсткість поверхні $R_a = 6,3...1,25$ мкм (попередня обробка), $R_a = 1,25...0,32$ мкм (чистова обробка) і $R_a = 0,63...0,16$ мкм (тонка обробка).

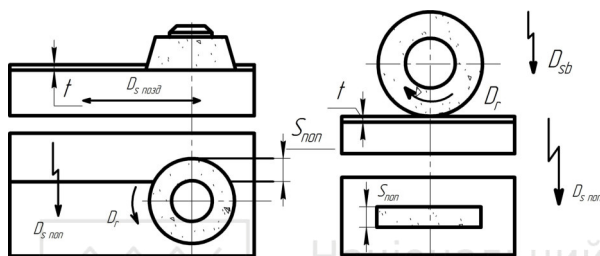


Рис. 150. Плоске шліфування торцем і периферією круга

Кругле безцентрове шліфування. Суть цього виду шліфування заключається в тому, що заготовка в процесі обробки не закріплюється в центрах і інших затискових пристроях, а базується на опорному ножі верстату 4 і ведучому крузі 3 (рис. 151).

Конструктивно ведучий круг виконаний так як і шліфувальний 1, але на основі в'язких вулканітових зв'язуючих, який забезпечує контакт з заготовкою практично без ковзання. Заготовка 2, яка обробляється, розміщується на опорі 4 між шліфувальним 1 і ведучим 3 кругами. Шліфувальний круг обертається зі швидкістю 30...40 м/с, ведучий – зі швидкістю 10...80 м/хв. Ведучий круг розміщується під кутом $\alpha = 1,5...5^\circ$ до шліфувального, завдяки чому заготовка отримує від ведучого круга обертовий та поступальний рух. Швидкість поздовжньої подачі збільшується із збільшенням кута α .

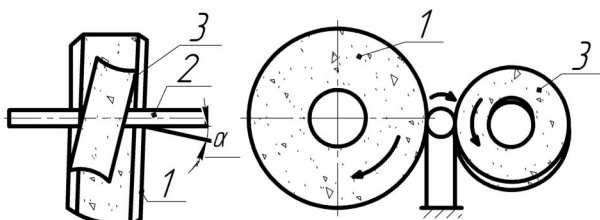


Рис. 151. Кругле безцентрове шліфування

Крім заготовок, які мають форму тіла обертання, а також заготовок з прямолінійною твірною, які можна обробляти на кругло-, плоско-, безцентровошліфувальних верстатах абразивними інструментами простої форми, існують багато заготовок, які мають фасонні, складні поверхні, а до шорсткості і параметрам точності яких ставляться високі вимоги: зубчаті колеса, шліцові вали, кулачки, лопатки турбін, фасонні різці, профільні шаблони, копії тощо. Всі ці поверхні обробляють спеціальними шліфувальними кругами, які мають складний профіль.

Профільне шліфування. Існує три основні методи цього виду шліфування: метод копіювання, метод огинання та метод еквідистентного шліфування (рис. 152).

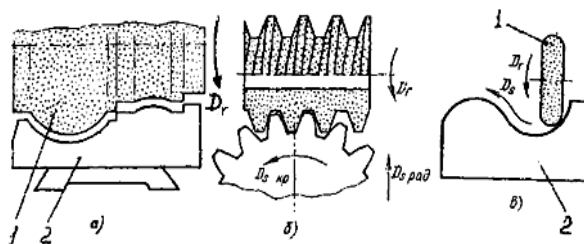


Рис. 152. Профільне шліфування: а – метод копіювання; б – метод огинання; в – метод еквідистентного шліфування



По методу копіювання профіль шліфувального круга 1 відповідає профілю деталі 2.

По методу огинання профіль на заготовці обробляється робочою поверхнею круга за рахунок відносного руху обкатки.

По методу еквідистентного шліфування обробляються заготовки складної форми, при цьому рух подачі круга виконується по траєкторії еквідистентній по відношенню до шліфувального профілю (віддалений на однакову відстань від утворюючої шліфувального профілю).

Швидкісне шліфування. Цей вид шліфування має швидкість обертання круга 50...70 м/с, що в 2...2,5 рази більше чим при звичайному шліфуванні. Швидкісне шліфування використовується тільки з застосуванням високопористих кругів на керамічній зв'язці, які мають підвищену міцність.

Заготовки, які обробляються на шліфувальних верстатах, повинні відповідати таким технологічним вимогам: вали повинні мати центрувальні отвори, пустотілі деталі – установочні фаски. На заготовках передбачаються спеціальні проточки для виходу круга, поверхні, які обробляються, розділяють ділянками, які не шліфуються. Плоскі поверхні деталей розміщуються перпендикулярно чи паралельно установочній поверхні.

9.4. Стійкість шліфувального круга

Спрацювання шліфувального круга залежить від матеріалу, який обробляється, характеристики круга (матеріалу абразивних зерен, зернистості, твердості), режиму різання. При роботі проходить спрацювання круга, затупленість зерен, а також заповнення простору між зернами металевим пилом (стружкою). Тому і при правильному виборі абразивного інструменту і наявності явища "самозагострення", як і всякий інший різальний інструмент, шліфувальний круг доводиться періодично правити по мірі затуплення. В процесі різання відбувається руйнування різальних елементів, втрата геометричної форми, так як швидкість різання при шліфуванні в багато разів перевищує швидкість різання при лезовій обробці. Завдяки особливостям різальних елементів абразивного інструменту, знімання припуску



проходить з великим виділенням теплоти (1000... 1500° C). Це впливає на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості поверхні, яка обробляється. Для зменшення впливу високої температури і силових факторів необхідно застосовувати охолодження, оптимальні характеристики круга, шліфування, інструмент для правки.

Спрацювання шліфувального круга по його ширині проходить нерівномірно: найбільш інтенсивно зношується та частина круга, яка зустрічається з заготовкою, – ця частина закруглюється і виконує роль заборної частини. Затуплення круга характеризується збільшенням шорсткості поверхні, яка обробляється, зниження точності обробки, з'явлення пропалів, зменшення продуктивності та наявністю додаткового шуму. Період стійкості абразивних кругів складає 5...60 хв.

Шліфувальні круги мають властивість самозагострюватись, але цього не достатньо, тому проводять правку круга, знімаючи з нього шар товщиною 0,02...0,1 мм, в залежності від конкретних умов шліфування. Правку проводять шліфувальними кругами із зеленого карбіду кремнію, алмазно-металевими роликками, видавлюванням поверхневого шару круга обкатуванням по ньому дисків або роликів. Також обточування шліфувального круга можна виконувати алмазом в оправці, алмазними карандашами, алмазними голками, алмазними пластинами та алмазними гребінками (рис. 153).

Шліфувальний круг, який закріплений на шпинделі, обертається з великою кутовою швидкістю. Тому необхідно, щоб маса круга була урівноважена відносно осі обертання. Неурівноваженість круга викликає періодичні навантаження на підшипники і при великих навантаженнях з'являються коливання (вібрація шпинделя та верстату в цілому). Це приводить до зменшення якості поверхні, яка шліфується (з'являється огранка), великі витрати абразивного матеріалу і зносу шпинделя. Для запобігання цього необхідно балансувати круг (на робочому фланці круга в пазу розміщуються сухарики, які можна зафіксувати в любому положенні).

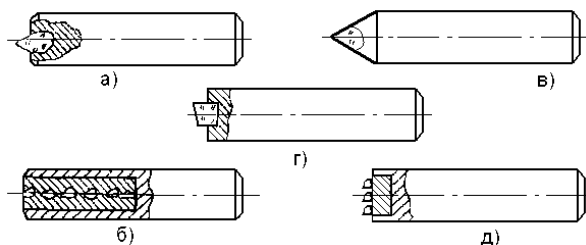


Рис. 153. Інструменти для обточування шліфувального круга:

а – алмаз в оправці; б – алмазний карандаш; в – голка;

г – алмазна пластинка; д – алмазна гребінка

Крім кругів для шліфування застосовують такі інструменти: шліфувальні головки, в основному для ручних шліфувальних машин; шліфувальні сегменти різної форми, які застосовуються для складних кругів; шліфувальні бруски круглого, прямокутного та інших перерізів для слюсарно-лекальних і опоряджувальних верстатних робіт; шліфувальні стрічки, які застосовуються для обробки складних профілей і знімання задирок.

9.5. Елементи процесу різання при шліфуванні

Припуск на шліфування в залежності від діаметру, довжини деталі, наявності термічної обробки знаходиться в межах 0,2...1,2 мм. Елементами процесу різання є: глибина різання (поперечна подача), поздовжня подача, колова швидкість круга та деталі.

Розглянемо елементи процесу різання на прикладі круглого зовнішнього шліфування.

Глибина різання (t) – товщина шару металу, який знімається за один прохід. Глибина різання співпадає з величиною поперечної подачі круга. При чорновому шліфуванні глибина різання знаходиться в межах 0,01...0,08 мм, при чистовому



0,005...0,015 мм.

Поздовжня подача – це поздовжнє переміщення деталі, яка обробляється (чи круга) в мм за один оберт деталі, мм/об. Подачу беруть в долях від ширини B шліфувального круга. Так при чорновому шліфуванні $S = (0,3...0,7)B$, при чистовому – $S = (0,2...0,4)B$, мм/об.

Швидкість різання – це колова швидкість шліфувального круга:

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n_k}{1000 \cdot 60}, (м/с), \quad (1)$$

де D_k – діаметр круга в мм; n_k – частота обертання круга в об/хв. Ця швидкість для кругів на керамічній зв'язці береться в межах 20...40 м/с.

Швидкість обертання деталі визначається за залежністю:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_d \cdot n_d}{1000}, (м/хв), \quad (2)$$

де D_d – діаметр деталі в мм; n_d – частота обертання деталі, об/хв.

Швидкість обертання деталі при чорновому шліфуванні дорівнює 20...70 м/хв, при чистовому – 15...50 м/хв, при внутрішньому – 25...115 м/хв, при плоскому – 5...65 м/хв.

Об'єм металу, який зрізується за один оберт деталі можна визначити за залежністю:

$$Q = \pi \cdot D_d \cdot t \cdot S_{позд}, (мм^3), \quad (3)$$

де D_d – діаметр деталі, яка обробляється, мм; t і $S_{позд}$ – глибина різання та поздовжня подача в мм.



9.6. Сили різання та потужність

У абразивного інструменту немає єдиної різальної кромки. Розглянемо силу різання при круглому зовнішньому шліфуванні, так як складові цієї сили впливають на якість, точність і стійкість шліфування. На рис. 154 наведена схема зовнішнього круглого шліфування в центрах.

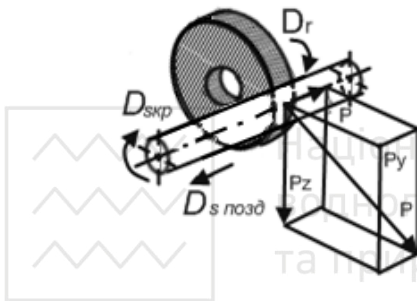


Рис. 154. Схема складових сили різання при круглому зовнішньому шліфуванні

Сила різання P відносно заготовки в процесі шліфування розміщена під деяким кутом. Знання сил різання P необхідно для управління параметрами якості поверхні заготовки та розрахунку потужності двигуна. Але виміряти силу P не завжди можливо, а складові цієї сили різання P_x , P_y і P_z легко можуть бути виміряні трьохкомпонентними динамометрами в процесі різання. P_z – тангенціальна складова сили, P_y – радіальна і P_x – осьова. Радіальна складова сили різання знаходиться в певній залежності від тангенціальної та протидіє візанню абразивних зерен в заготовку і направлена перпендикулярно до різальної поверхні круга:



$$P_y = (1,5 \dots 2,5) P_z. \quad (4)$$

Осьова складова сили різання, як правило, становить $P_x = 0,5 \dots 10$ Н. Тангенціальна складова сили визначається за емпіричною залежністю (кг):

$$P_z = C_p \cdot V_D^{0.7} \cdot S^{0.7} \cdot t^{0.5}, \quad (5)$$

де C_p – коефіцієнт матеріалу (при зовнішньому круглому шліфуванні шириною 40 мм, діаметром шліфувального круга $D_k = 300 \dots 500$ мм, і швидкістю $V_k = 30$ м/с) має значення: $C_p = 2,2$ – при обробці заготовки із загартованої сталі, $C_p = 2,1$ – при незагартованій сталі; $C_p = 2,0$ – при обробці чавуну; V_D – швидкість обертання деталі (м/хв); S – подача; t – глибина різання.

Потужність при шліфуванні визначається окремо для круга (N_k) і деталі (заготовки) (N_D):

$$N_k = P_z \cdot V_k / 102. \quad (6)$$

$$N_D = P_z \cdot V_D / 60 \cdot 102. \quad (7)$$

Для визначення потужності в кВт, складова сили P_z задається в кг; V_k – м/с; V_D – м/хв.

Потужність, яка витрачається на обертання деталі (N_D), в 60...100 разів менша потужності, яка витрачається на обертання деталі. Також потужність шліфувального круга можна розрахувати за емпіричною формулою.

Шліфування периферією круга з поздовжньою подачею:

$$N_e = C_N \cdot V_D^r \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q, \quad (8)$$

При врізному шліфуванні периферією круга:

$$N_e = C_N \cdot V_D^r \cdot t^x \cdot S_p^y \cdot d^q \cdot B^z, \text{ (кВт)}. \quad (9)$$



При шліфуванні торцем круга:

$$N_e = C_N \cdot V_D^r \cdot t^x \cdot B^z, \quad (10)$$

де d – діаметр шліфування, мм; B – ширина шліфування, мм, рівна довжині відрізка заготовки, який шліфується при круглому врізному шліфуванні і поперечному розміру поверхні заготовки при шліфуванні торцем круга; S_p – радіальна подача.

Значення коефіцієнта C_N і показників степеня в формулах наведені в таблиці 3.13 [2].

9.7. Методика вибору режимів різання при шліфуванні.

Основний технологічний час

В залежності від матеріалу, який обробляється, і чистоти поверхні підбираємо шліфувальний круг (його зернистість і зв'язку).

Призначаємо глибину різання, яка співпадає з величиною подачі круга:

$$S_{\text{нон}} = k \cdot H, \quad (11)$$

де H – висота круга; k – поправочний коефіцієнт, який враховує долі висоти круга.

Призначаємо кількість робочих ходів, коли припуск неможливо зняти за один прохід:

$$i = \frac{z}{S_{2x}}, \quad (12)$$

де z – припуск на механічну обробку; S_{2x} – поздовжня подача на подвійний хід.

Поздовжня подача задається в долях від ширини круга. При чорновому шліфуванні $S_0 = (0,3 \dots 0,7)B$; при чистовому



$S_0 = (0,2 \dots 0,4)B$, де B – ширина шліфувального круга.

В залежності від матеріалу і умов обробки розраховуємо колову швидкість деталі за емпіричною залежністю. При шліфуванні периферією круга:

$$V_D^{\text{don}} = \frac{C_V \cdot D_D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_0^y}, (\text{м / хв}). \quad (13)$$

При шліфуванні торцем круга:

$$V_D^{\text{don}} = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot B^z}, (\text{м / хв}), \quad (14)$$

де D_D – діаметр деталі в мм; t – глибина різання в мм; S_0 – позадвжня подача в долях ширини круга за один оберт деталі; B – ширина шліфування в мм; C_V, q, m, x, y, z – коефіцієнти та показники степеня знаходяться в залежності від виду шліфування, матеріалу [2]; T – період стійкості.

За таблицею 3.12 [2] визначаємо швидкість круга V_K .

Вибране значення швидкості V_K і деталі V_D коректується за кінематичними даними верстату згідно умови:

$$V_K (V_D)_{\text{нас}} \leq V_K (V_D). \quad (15)$$

Розраховуємо частоту обертання деталі та круга:

$$n = \frac{1000 \cdot V_D^{\text{don}}}{\pi \cdot D_D(K)}. \quad (16)$$

Визначаємо фактичну частоту обертання, вибираючи найближче менше чи рівне значення по паспорту верстату:

$$n_\phi = n_{\text{насп}} \leq n. \quad (17)$$



Для круглошліфувальної чи плоскошліфувальної операції визначають: – поздовжню подачу столу:

$$S_{позд} = S_0 \cdot n_{\phi}, \quad (18)$$

де S_0 – поздовжня подача чи один оберт деталі;

– фактична поздовжня подача столу:

$$S_{позд}^{\phi} = S_{позд}^{насп} \leq S_{позд}. \quad (19)$$

Розраховуємо фактичну швидкість різання:

$$V_{Д(К)}^{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{Д}^{\phi}}{1000}. \quad (20)$$

Розраховуємо складову силу різання P_z при зовнішньому круглому шліфуванні:

$$P_z = C_p \cdot V_{Д}^{0.7} \cdot S^{0.7} \cdot t^{0.5}. \quad (21)$$

Розраховуємо потужність, яка затрачується на обертання круга:

$$N_k = \frac{P_z \cdot V_K^{\phi}}{102}, \text{ (кВт)}. \quad (22)$$

Розраховуємо потужність на обертання деталі:

$$N_{Д} = \frac{P_z \cdot V_{Д}^{\phi}}{60 \cdot 102}, \text{ (кВт)}. \quad (23)$$

Також перевірку правильності вибору подачі, глибини та швидкості різання проводять, виходячи із потужності верстату, не розраховуючи силу різання. Ефективна потужність, яка за-



трачується при шліфуванні периферією крута з поздовжньою подачею, розраховується за формулою:

$$N_e = C_N \cdot V_3^r \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q, \text{ (кВт)}. \quad (24)$$

при врізному шліфуванні периферією круга

$$N_e = C_N \cdot V_3^r \cdot S_p^y \cdot d^q \cdot B^z, \text{ (кВт)}. \quad (25)$$

при шліфуванні торцем круга

$$N_e = C_N \cdot V_3^r \cdot t^x \cdot B^z, \text{ (кВт)}. \quad (26)$$

Значення коефіцієнта C_N і показників степеня в формулах наведені в таблицях 3.13 [2].

Для розрахунку потужності при круглому шліфуванні, якщо значення поздовжньої подачі наведено в мм/хв, вираховують поздовжню подачу в мм/об заготовки за формулою:

$$S(\text{мм/об}) = S(\text{мм/хв}) \pi d / 1000 V_3, \quad (27)$$

де d – діаметр заготовки, мм; V_3 – колова швидкість заготовки, м/хв.

Отримана потужність не повинна перевищувати потужність електродвигуна верстату помножену на к.к.д.

$$N_e \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta, \quad (28)$$

де η – к.к.д. двигуна ($\eta = 0,75 \dots 0,8$).

Якщо остання рівність не справджується, то швидкість чи глибина різання повинна бути зменшена.

Розрахунок режимів різання при шліфуванні закінчується ви-

значенням основного технологічного часу (T_0).

Основний технологічний час (T_0) при зовнішньому круглому шліфуванні методом поздовжньої подачі (рис. 155) визначається за залежністю:

$$T_0 = \frac{L}{S_{\text{нозд}} \cdot B_K \cdot n_D} \cdot i \cdot K, (x\theta), \quad (29)$$

де L – довжина шліфування; i – кількість проходів,

$$i = \mathbf{z}/S_{2x}, \quad (30)$$

де z – припуск на обробку на сторону, S_{2x} – подача на подвійний хід; $K = 1,2 \dots 1,5$ – коефіцієнт, який враховує доводку та вигладжування.

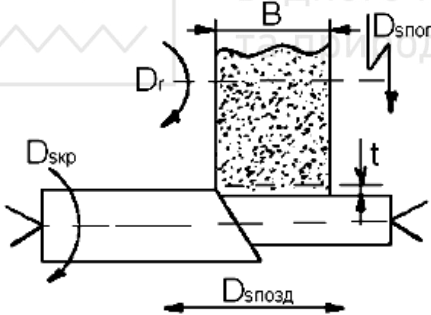


Рис. 155. Схема зовнішнього круглого шліфування



Основний технологічний час при зовнішньому врізному шліфуванні (рис. 156):

$$T_0 = \frac{L}{S_{\text{ноп}} \cdot n_d} \cdot K, \quad (31)$$

де L – довжина врізання,

$$L = z = \frac{(D - d_1)}{2}. \quad (32)$$

Основний технологічний час при внутрішньому круглому шліфуванні методом поздовжньої подачі (рис. 157):

$$T_0 = \frac{L}{S_{\text{нозд}} \cdot B_K \cdot n_d} \cdot i \cdot K, \quad (33)$$

де i – кількість проходів,

$$i = z/S_{2x}. \quad (34)$$

Основний технологічний час при врізному шліфуванні торців (рис. 158):

$$T_0 = \frac{L}{S_o \cdot n_d} \cdot K. \quad (35)$$

Довжина шліфування дорівнює припуску на механічну обробку, $L = z$.

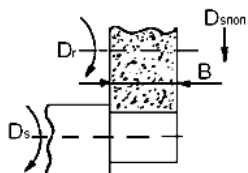


Рис. 156. Схема зовнішнього
врізного шліфування

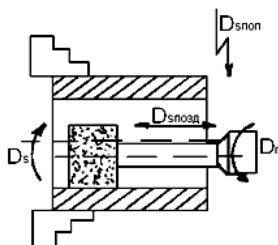


Рис. 157. Схема внутрішнього
круглого шліфування

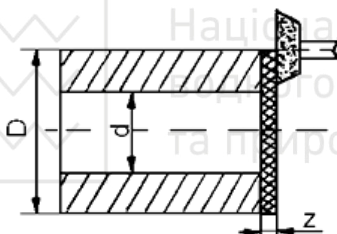


Рис. 158. Схема врізного шліфування торців



10. Протягування – як один із методів обробки металів різанням

10.1. Типи протягувальних верстатів. 10.2. Протягування та схеми різання при протягуванні. 10.3. Типи протяжок, їх конструктивні схеми та геометричні параметри. 10.4. Елементи режиму різання при протягуванні. Площа поперечного перерізу. 10.5. Сили різання. 10.6. Методика вибору режимів різання. Основний технологічний час.

Протягування – це процес обробки металів різанням, при якому різальний інструмент (протяжка) виконує головний рух переміщення (D_r), а рух подачі (D_s) не потрібний, так як поступове знімання припуску на обробку проходить завдяки тому, що в різальній частині протяжки кожний наступний зуб вище попереднього. За один хід протяжки виконується повна обробка отвору, що забезпечує високу продуктивність при обробці деталей.

Протягування заготовок знаходить широке застосування при масовому та серійному виробництві і особливо ефективно протягування складних і фасонних поверхонь. В малосерійному та одиночному виробництві протягуванням обробляють поверхні, до точності і параметрам якості яких ставлять високі вимоги.

Кожний зуб протяжки на відміну від зуба фрези тільки один раз приймає участь у обробці заготовки (одночасно в роботі знаходиться три – шість зубів).

Методом протягування досягається точність до 2-го класу включно і чистота обробленої поверхні до 7-8 -го класів.

10.1. Типи протягувальних верстатів

Протягування виконується на універсальних і спеціальних протяжних верстатах (вертикальної та горизонтальної компоновки).

Основна характеристика протяжного верстату є зусилля на штоці, довжина ходу штоку та діапазон швидкостей протягу-



вання. Зусилля на штоці може досягати $3 \cdot 10^6$ Н, діапазон швидкостей протягування від 0,3 до 20 м/хв і довжини ходу штоку 1000...2000 мм.

Найбільш поширеними типами протяжних верстатів є 5 і 7 тип, протяжні горизонтальні та протяжні вертикальні, які мають в позначенні цифри 5 і 7 (7510, 7A705). Протяжні верстати відносять до 7 групи.

Горизонтально – протяжні верстати використовуються в основному для обробки внутрішніх поверхонь.

На рис. 159 наведено загальний вигляд горизонтально-протяжного верстату.

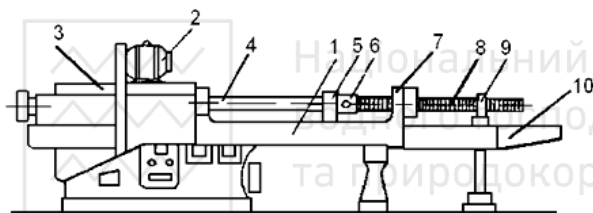


Рис. 159. Загальний вигляд горизонтально-протяжного верстату

Він складається із станини 1, коробчатої форми, гідронасоса 2, гідроциліндра 3, несучого штока 4, каретки 5 і замкового пристрою 6. Каретка переміщується по горизонтальних направляючих. Заготовка закріплюється на опорній плиті 7. Для фіксації тяжких протяжок 8 встановлюється люнет 9 на направляючих корита 10. Люнет підтримує хвостовик протяжки під час протягування, запобігаючи її провисанню. Корито служить для накопичення стружки, змащувального матеріалу, яке відпрацювало, і малих заготовок.

Заготовку встановлюють на опорну плиту верстату, а протяжку встановлюють в попередньо оброблений отвір заготовки та закріплюють в патроні для протягування каретки. В процесі



протягування шток гідроциліндра переміщається разом з кареткою та протяжкою, виконуючи робочий хід. Після знімання заготовки каретка повертається в вихідне положення і цикл роботи повторюється.

Тягова сила верстату складає 30...100000 Н, швидкість ходу 0,3...20 м/хв, довжина ходу каретки 1000...2000 мм.

Вертикально – протяжний верстат наведений на рис. 160. Він застосовується для внутрішнього та зовнішнього протягування легких і середніх заготовок. Цей верстат складається із основи 1, на якій закріплюється станина 4, по вертикальних напрямляючих якої переміщається повзун 3. На повзуні закріплюється протяжка. Повзун працює від гідроциліндра, який кріпиться в корпусі станини. Необхідний тиск масла в гідроциліндрі забезпечується гідронасосною станцією 5.

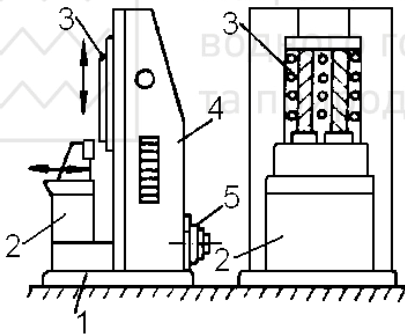


Рис. 160. Загальний вигляд вертикально-протяжного верстату

Заготовка встановлюється на горизонтальному столі 2, який переміщується в поперечному напрямку гідравлічно або механічно. Після робочого ходу протяжки стіл відходить від неї і після повернення останньої (допоміжний хід вгору) стіл з новою заготовкою повертається в вихідне положення.



При внутрішньому протягуванні протяжка захоплюється патроном після подачі її через отвір заготовки. Подача протяжки виконується допоміжною кареткою, яка після протяжки патроном робочої каретки зупиняється.

Допоміжна та робоча каретки переміщається від окремих гідроциліндрів.

Тягова сила верстату становить 50000...200000 Н, швидкість робочого ходу 0.5...15 м/хв, довжина ходу каретки 600...1600 мм.

До окремого типу протяжних верстатів відносяться верстати безперервної обробки (рис. 161).

Ці верстати мають дуже високу продуктивність. Заготовки 2 встановлюють в спеціальних пристроях на нескінченній тяговій стрічці 4, яка надає їм головний поступальний рух із швидкістю різання. Протяжка 1 нерухомо закріплена, а знизу заготовка в процесі обробки силами різання притискається до нерухомої підкладки 3.

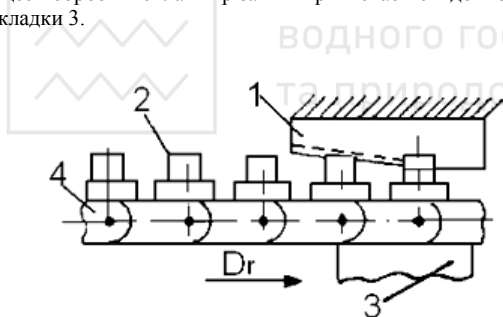


Рис. 161. Схема роботи на протяжному верстаті безперервної обробки

10.2. Протягування та схеми різання при протягуванні

Протягуванням обробляють різні внутрішні та зовнішні поверхні (рис. 162).

Розрізняють внутрішнє та зовнішнє протягування, які в свою чергу можна розділити на вільне та координатне. При вільному



протягуванні гарантується розмір профілю та мала шорсткість отвору, при координатному – втримується ще і розмір профілю відносно базових поверхонь заготовки.

При внутрішньому вільному протягуванні заготовка 2, яка має попередньо оброблений отвір, базують торцеву поверхню на опорній плиті 1 протяжного верстату (рис. 163). В отвір пропускають передню направляючу протяжки 3. Ці протяжки працюють на розтягування так як сила P прикладена до замкової частини.

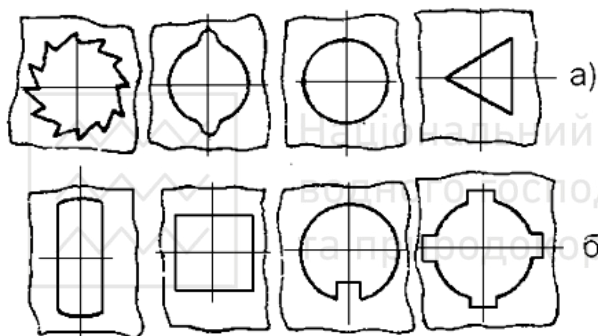


Рис. 162. Основні види поверхонь при протягуванні:
а – внутрішні поверхні; б – зовнішні поверхні

Якщо сила прикладена до задньої направляючої частини протяжки, то такий метод називається прошиванням, а інструмент – прошивкою (рис. 164).

Прошивка працює на стиснення та поздовжній згин. Прошивку 3 встановлюють передньою направляючою в отвір заготовки 2, яка встановлена на опорній плиті 1 прошивочного верстату. Прошивки найчастіше застосовують для калібрування внутрішніх отворів високої точності.

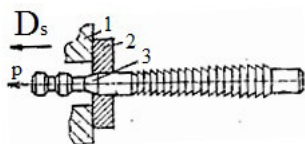


Рис. 163. Схема внутрішнього
вільного протягування

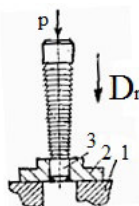


Рис. 164. Схема прошивання

Схема зовнішнього протягування наведена на рис. 165. Зовнішня протяжка 3 закріплюється на каретці 4 протяжного верстату, а заготовка 2 жорстко закріплюється на столі 1 верстату.

Схема внутрішнього протягування плоскою протяжкою (схема протягування шпонкового пазу заготовки 1, яка встановлена на оправці 2 наведена на рис. 166.

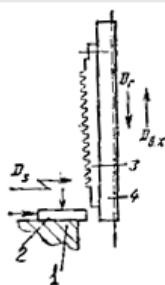


Рис. 165. Схема зовнішнього
протягування

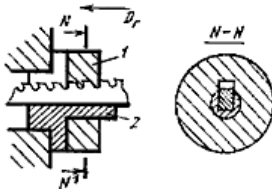


Рис. 166. Схема внутрішнього про-
тягування плоскою протяжкою



10.3. Типи протяжок, їх конструктивні елементи та геометричні параметри

Протяжка представляє собою стержень визначеного перерізу, який на поверхні має різальні зуби. Кожний наступний зуб розміщено вище від попереднього і зрізує з поверхні заготовки шар завтовшки $0,01 \dots 0,2$ мм (рис. 167).

Припуск при протягуванні (z) знімається протяжкою за один прохід. Таким чином припуск дорівнює сумі різниць висоти попереднього та наступного зубів протяжки:

$$Z = S_{z1} + S_{z2} + \dots + S_n, \quad (1)$$

де $S_{z1} + S_{z2} \dots$ – різниця висот попереднього та наступного різальних зубів протяжки.

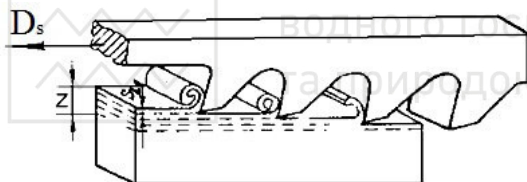


Рис. 167. Схема різання припуску при протягуванні

Таким чином протяжки можна поділити на: круглі для внутрішнього вільного протягування (рис. 163), прошивки (рис. 164), плоскі для зовнішнього протягування (рис. 165) і плоскі для внутрішнього протягування (шпонкові, шліцові) (рис. 166).

Конструкція циліндричної та плоскої (шпонкової) протяжок наведені на рис. 168.

Циліндричні та плоскі шпонкові протяжки мають основні частини: 1 – хвостовик з замковою частиною; 2 – передню напрямляючу (для направлення протяжки на початку її роботи); 3 – різальну частину, яка зрізує основний припуск, 4 – калібру-



вальну частину, елементи якої калібрують отвір, знімаючи дуже малий припуск, при цьому забезпечуючи малу шорсткість поверхні та велику точність профілю; 5 – задню направляючу частину, яка необхідна для запобігання прогину протяжки і яка на початку різання підтримується люнетом (для циліндричної протяжки), а також для запобігання перекосу заготовки в кінці обробки.

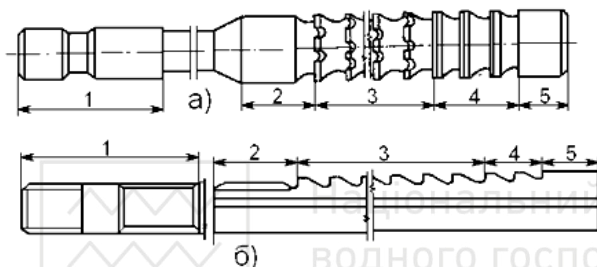


Рис. 168. Конструкція циліндричної (а) і плоскої шпонкової протяжки (б)

Плоскі протяжки для зовнішнього протягування (рис. 168, б), призначені для обробки зовнішніх плоских та лінійних фасонних поверхонь невеликої ширини. Ці протяжки не мають ні передніх ні задніх направляючих (рис. 165).

Прошивка (рис. 164) як і протяжка має різальну частину, калібруючу та задню направляючу.

Продуктивність при протягуванні в декілька разів вища, ніж при фрезеруванні та струганні, оскільки довжина різальних кромek велика. До недоліків протягування слід віднести високу вартість протяжок. Виготовляють їх переважно із легованої інструментальної сталі марки ХВГ і швидкорізальних сталей. Застосовують також протяжки, які оснащені твердими сплавами. Для охолодження та змащування в процесі різання застосовують емульсії, сульфифрезол, а також суміш керосину та масла. Обробка чавунних заготовок проводиться без охолодження.

В залежності від виду робіт, які виконуються тією чи іншою



протяжкою їх можна поділити на шість типів. Круглі протяжки – для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь. На секціях круглих протяжок в шахматному порядку роблять стружкороздільні канавки. Шліцеві протяжки застосовують для обробки прямих і гвинтових шліцевих канавок. Канавки виготовляють прямими та евольвентного профілю. При протягуванні останніх заготовка чи протяжка обертається в процесі обробки.

Шпонкові протяжки – для обробки шпонкових пазів. Багатогранні протяжки – для обробки граней отворів з любым числом сторін,

Плоскі протяжки – для обробки плоских поверхонь.

Ущільнюючі протяжки – для ущільнення попередньо оброблених поверхонь з метою покращення структури поверхневого шару та зменшення шорсткості обробленої поверхні. Ущільнення поверхні суттєво підвищує її зносостійкість.

У шпонкових протяжок із швидкорізальної сталі стійкість $T \geq 120$ хв; у шліцевих $T \geq 420$ хв при обробці сталей. Стійкість протяжок із легированих сталей в 2...2,5 рази вище стійкості протяжок із швидкорізальних сталей. Стійкість твердодоплавкових елементів в складальних протяжках в 12...18 разів вище, чим різальні елементи протяжки із швидкорізальної сталі.

У круглих внутрішніх протяжок передня направляюча має перехідний конус, який служить для плавного входу протяжки в отвір, який обробляється. Його довжина рівна 20 мм, кут конусу 15...30°. Передня направляюча протяжки забезпечує її центрування по попередньо обробленому отворі та забезпечує правильний вхід різальних зубів протяжки в початковий період обробки. Діаметр чи розмір направляючої рівний найменшому діаметру чи розміру попередньо обробленого отвору. Довжина передньої направляючої l_n розраховується за формулою:

$$l_n = l_0 + 0,5t, \quad (2)$$

де l_0 – довжина отвору, що обробляється; t – середній крок різальних зубів.

Задня направляюча необхідна для правильного виходу



останніх зубів протяжки із оброблювального отвору (щоб не було перекосу заготовки). Довжина задньої направляючої рівна половині довжини отвору, який обробляється.

Робоча частина протяжки складається із різальних і калібруючих зубів:

$$Z_p = \frac{Z}{S_z} + (2 \dots 4), \quad (3)$$

де Z – припуск на обробку поверхні, S_z – подача на зуб протяжки.

Число калібруючих зубів беруть рівним 3...8 в залежності від точності поверхні, яка обробляється.

Крок різальних зубів протяжки визначається в залежності від довжини деталі, яка обробляється:

$$t = (1.25 \dots 1.5) \sqrt{L}, \text{ (мм)}. \quad (4)$$

Розміри та геометричні параметри зубів протяжки задаються в головній січній площині (площині перпендикулярній до головної різальної кромки).

На практиці застосовуються три форми зуба протяжки (рис. 169).

Протяжки з прямолінійною спинкою прості в виготовленні. Протяжки з криволінійною спинкою застосовують для обробки в'язких металів, так як вони утворюють неперервну стружку. Протяжки з прямолінійним дном впадин застосовують для обробки глухих отворів з метою гарантованого розміщення стружки. Форму різальних зубів визначають наступні параметри: висота зуба $h_f = (0,35 \dots 0,45)t$; довжина задньої поверхні $c = (0,3 \dots 0,35)t$; радіус спинки зуба $R = (0,65 \dots 0,80)t$; радіус канавки $r = 0,5h_f$.

У калібрувальних зубів крок дорівнює: $t_k = (0,5 \dots 1,0)t$. Калібрувальні зуби мають стрічку по задній поверхні $f = 0,2 \dots 0,3$ мм (рис. 170).

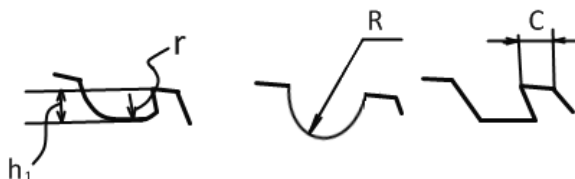


Рис. 169. Форми зуба протяжки:

а – з прямолинійною спинкою; *б* – з криволінійною вгнутою спинкою; *в* – з прямолинійною спинкою і прямолинійним відрізком на дні канавки

Кожний зуб протяжки можна розглядати як різець з власними йому геометричними параметрами. В залежності від міцності та твердості матеріалу, який обробляється, передній кут γ робочої частини протяжки змінюється від 0 до 15° . Так при протягуванні м'якої сталі, алюмінію, міді $\gamma = 2 \dots 15^\circ$, при протягуванні твердого чавуну, сталі $\gamma = 0 \dots 4^\circ$.

Задній кут для протяжок внутрішнього протягування $\alpha = 1 \dots 4^\circ$, а для зовнішнього $\alpha = 10^\circ$. На калібрувальних зубах $\alpha = 30' \dots 2^\circ$.

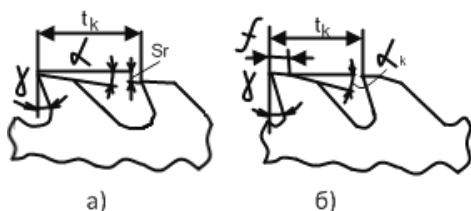


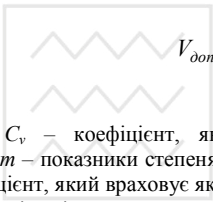
Рис. 170. Зуби протяжки: *а* – різальні; *б* – калібрувальні



10.4. Елементи режиму різання при протягуванні

До елементів режиму різання при протягуванні відноситься швидкість різання, так як периметр різання та подача обумовлені конструктивними особливостями протяжки. Іншими словами, обумовлена товщина зрізуваного шару a (глибина різання) і ширина зрізуваного шару b .

Швидкість різання при протягуванні – це швидкість відносного переміщення протяжки та заготовки в головному робочому русі. Її вибирають її по таблицях в залежності від точності обробки та параметрів шорсткості. Як правило $V = 3...20$ м/хв, $V = 0,05...0,4$ м/с [2]. Також швидкість різання (допустиму) можна розрахувати за емпіричною залежністю:


$$V_{\text{доп}} = \frac{C_v}{T^m \cdot S_z^y} \cdot K_v, \quad (5)$$

де C_v – коефіцієнт, який залежить від матеріалу різця; y і m – показники степеня, визначаються по довіднику; K_v – коефіцієнт, який враховує якість матеріалу, стан поверхні та якість матеріалу інструменту.

$$K_v = K_{\mu V} \cdot K_{nV} \cdot K_{uV}, \quad (6)$$

де $K_{\mu V}$ – якість матеріалу; K_{nV} – стан поверхні; K_{uV} – якість матеріалу інструменту; T – період стійкості різця в хв.

Ширина зрізуваного шару b вимірюється вздовж різальної кромки. У шпонкових протяжок – це ширина пазу. У протяжок других видів ширина рівна довжині активної частини різальної кромки. У круглих протяжок ширина різання рівна довжині кола.

Площа поперечного перерізу (мм²)

При протягуванні площа поперечного перерізу для одного зуба шпонкової протяжки визначається за залежністю $f = a \cdot b$,



для багатшліцевої – $f = a \cdot b \cdot n$; для круглої – $f = a \cdot \pi \cdot D$, де $a = S_z$ мм/зуб; b – ширина шліца, мм; n – число шліців; D – діаметр протяжки.

Сумарна площа (мм²) зрізаного перерізу припуску визначається за залежністю $F = f \cdot z_i$, де z_i – число зубів, які одночасно приймають участь в різанні.

10.5. Сили різання

Сила різання P при протягуванні, яка діє на кожний зуб протяжки, може бути розкладена на P_z – осьову складову, яка направлена вздовж осі та P_y – нормальну складову, яка направлена перпендикулярно до осі протяжки (рис. 171).

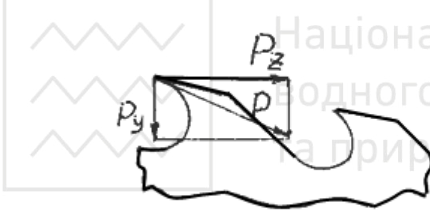


Рис. 171. Сили різання при протягуванні

Для підрахунку сили різання необхідно знати суму складової P_z , яка направлена в бік протилежний руху протяжки.

$$P_z = R \cdot \sum B_i, (\text{Н}), \quad (7)$$

де R – сила різання, яка приходить на одиницю довжини різальної кромки зуба (питома сила різання); $\sum B_i$ – сумарна довжина різальних кромок, які одночасно приймають участь в різанні. Питома сила різання змінюється в діапазоні від 60 Н/мм, для м'яких матеріалів, до 900 Н/мм для твердих матеріалів (визначається по таблицях в залежності від виду матеріалу, який обробляється).



Протяжка розраховується на розрив по найменшому перерізу:

$$\sigma = \frac{P_z}{F}, \text{ (Па)}, \quad (8)$$

де F – площа найменшого перерізу протяжки, м^2 .

Потужність різання при протягуванні:

$$N_e = P_z \cdot V_{\text{доп}}, \text{ (Вт)}, \quad (9)$$

де $V_{\text{доп}}$ – допустима швидкість при протягуванні, яку можна знайти по емпіричній залежності (залежність 5).

В деяких випадках, маючи потужність двигуна, доцільно визначити швидкість різання:

$$V = 61200 \cdot \frac{N_{\text{дв}}}{P_z} \cdot \eta, \quad (10)$$

де η – коефіцієнт корисної дії протяжних верстатів.

10.6. Методика вибору режимів різання. Основний технологічний час

Призначення режимів різання при протягуванні починають з установлення характеристик інструменту. Інструмент вибирають по даних, які наведені в табл. 4.1 [2].

При всіх видах протягування режими різання призначають в наступному порядку:

– призначають периметр різання, який залежить від форми та розмірів поверхні, яка обробляється, схеми різання, і визначається із рівняння:

$$\sum B = B \cdot \frac{Z_1}{Z_c}, \quad (11)$$

де B – периметр різання, мм, який рівний довжині контура заго-



товки, яка обробляється чи більший її на величину $1/\cos\alpha$ при похилому розміщенні зубів під кутом α ; Z_c – число зубів в секції протяжки при прогресивній схемі різання (при профільній чи генеральній схемі різання $Z_c = 1$); Z_l – найбільше число одночасно різальних зубів, які визначаються із виразу $Z_l = l/t$, де l – довжина поверхні, яка обробляється, мм (за вирахуванням пазів або виточок, якщо такі є); t – крок різальних зубів, мм. Розраховане значення Z_l заокруглюємо до цілого числа [2];

– подача S_z при протягуванні конструктивний параметр протяжки і характеризує перепад між сусідніми різальними зубами протяжки;

– вибираємо швидкість різання, яка обумовлена вимогами до точності обробки і параметрами шорсткості поверхні (табл. 10.1) в залежності від групи швидкості, яка вибирається із табл. 10.2.

– встановлену нормативну швидкість різання зрівнюємо з максимальною швидкістю робочого ходу верстату та швидкістю різання, м/хв, виходячи з потужності двигуна верстату:

$$V = 61200 \cdot \frac{N_{\text{дв}}}{P_z} \cdot \eta, \quad (12)$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність двигуна верстату, кВт; P_z – сила різання при протягуванні, Н; η – к.к.д. верстату.

Розрахункову швидкість різання порівнюємо з табличною (табл. 10.1) і приймаємо найменшу.

Сила різання $P_z(\text{H})$ при протягуванні визначається за залежністю:

$$P_z = P \sum B, \quad (13)$$

де P – сила різання на 1 мм довжини леза, Н, яка залежить від матеріалу, який обробляється та величини подачі S_z мм на один зуб протяжки (табл. 10.3).



Таблиця 10.1

Швидкість різання, м/хв, для протяжок із
швидкорізальної сталі Р6М5

Протяжки				Група швидкості різання (табл. 8)
Циліндри- чні	Шліцові	Шпонкові і для зовніш- нього про- тягування	Всіх типів	
8/6	8/3	10/7	4	1
7/5	7/4,5	8/6	3	2
6/4	6/3,5	7/5	2,5	3
4/3	4/2,5	4/3,5	2	4

Примітка:

1. В чисельнику наведені швидкості різання при $R_a = 3,2...6,3$ мкм і точності 8...9-го квалітетів, в знаменнику – при $R_a = 1,6$ мкм і точності 7-го квалітету; для протяжок всіх типів при $R_a = 0,8...0,4$ мкм.

2. При протягуванні зовнішніх поверхонь з допуском до 0,03 мм секціями протяжок з фасонним профілем швидкість різання знижувати до 4...5 м/хв.

3. Для протяжок із сталі ХВГ табличні швидкості різання знижувати на 25... 30%.

Значення сили різання в таблиці 10.3 наведені для нормальних умов експлуатації: а) передні та задні кути зубів оптимальні; б) величина зношення не більша допустимої.

Основний технологічний час (хв) при протягуванні цей час вираховується за один цикл:

$$T_0 = \frac{L}{1000 \cdot V \cdot q} \cdot K, \quad (14)$$

де L – довжина робочого ходу протяжки, мм; K – 1,4...1,5 коефіцієнт, який враховує співвідношення швидкості робочого та допоміжного ходу протяжки; V – швидкість різання, м/хв; q – число заготовок, які одночасно обробляються.

$$L = l_p + l_{з.н} + l_3 + l_{дод}, \quad (15)$$

де l_p – довжина робочої частини протяжки; $l_{з.н.}$ – довжина задньої направляючої; l_3 – довжина поверхні, що протягується; $l_{дод}$ – 30...50 мм – сумарна довжина на вхід і перебіг протяжки.



Таблиця 10.2

Групи швидкостей при протягуванні сталі та чавуну

	Сталь						
	Вуглецева і ав- томатна	Марганцева і хромованадієва	Хромиста	Хромомоліб- денова	Хромокремнієва і кремнемарганце- виста	Хромомарганце- виста	Хромо-кремне- марганцевиста
До 156	4	-	-	-	-	-	-
	3	3		2		2	
	2		1			1	
	1	2		3	2		2
	2	3	3		3	2	
					4	3	3
	Сталь						чавун
	Нікелева	Хромонікелева	Хромомарганце- вистомолібденова	Нікель- молібденова	Хромомарганце- вистотитанова	Хромонікель- молібденова	Сірий Ковкий
До 156	-	-		-	-	-	1
156...187		3					1
187...197	4			3			2
197...229	3		1		2		
229...269	3		2	2		3	-
269...321	-	3	3	3	-	4	-



Таблиця 10.3

Сили різання P , (Н), яка приходить на 1 мм довжини
леза зуба протяжки

По- дача на один зуб S_z , мм	Матеріал, який обробляється								
	Вуглецева сталь			Легована сталь			Ча-		
	HB≤197	HB 198-229	HB≥229	HB≤197	HB 198-229	HB≥229	сірий		Ков- кий
							HB≤180	HB≥180	
0,01	65	71	85	76	85	91	55	75	63
0,02	95	105	125	126	136	158	81	89	73
0,03	123	136	161	157	169	186	104	115	94
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134	109
0,06	177	95	232	238	255	282	151	166	134
0,08	213	235	280	280	302	335	180	200	164
0,10	247	273	325	328	354	390	207	236	192
0,12	285	315	375	378	407	450	243	268	220
0,14	324	357	425	423	457	505	273	303	250
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336	276
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370	302
0,20	427	473	562	576	620	685	360	402	326
0,22	456	503	600	620	667	738	385	427	349
0,25	495	545	650	680	730	810	421	465	376
0,30	564	615	730	785	845	993	476	522	431



Додаток А

Приклади розрахунку режимів різання

Задача 1. Розрахунок режимів різання при точінні аналітичним методом

Обробка заготовки точінням здійснюється при поєднанні двох рухів рівномірного обертального руху деталі – руху різання (чи головного руху) і рівномірного поступального руху різця вздовж чи поперек осі деталі – рух подачі. До елементів режиму різання належать: глибина різання t , подача S , швидкість різання V .

Глибина різання – величина шару, що зрізується, за один прохід, заміряна в напрямку, перпендикулярному обробленій поверхні, тобто перпендикулярно напрямку подачі. При чорновій обробці, як правило, глибину різання призначають рівною всьому припуску, тобто припуск зрізують за один прохід:

$$t = h = \frac{D - d}{2}, \text{ мм},$$

де h – припуск, мм; D – діаметр заготовки, мм; d – діаметр деталі, мм.

При чистовій обробці припуск залежить від вимог точності й шорсткості обробленої поверхні.

Подача – величина переміщення кромки різального інструмента щодо обробленої поверхні в напрямку подачі за одиницю часу чи за один оборот заготовки. При чорновій обробці призначають максимально можливу подачу з огляду на твердість і міцність системи ВПД (верстат – пристосування – інструмент – деталь), міцність пластинки, потужність приводу верстата; при чистовій обробці – в залежності від необхідної точності та ступеня шорсткості обробленої поверхні.

Швидкість різання – величина переміщення точки кромки різального інструмента щодо поверхні різання в напрямку руху різання за одиницю часу.

Швидкість різання залежить від властивостей різального інструмента і може бути визначена при точінні за таблицями нормативів чи за емпіричною формулою:



$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^v} K_v,$$

де C_v – коефіцієнт, що враховує умови обробки; m, x, v – показники степені; T – період стійкості інструмента, хв.; t – глибина різання, мм; S – подача, мм/об.; K_v – узагальнений поправковий коефіцієнт, що враховує зміни умов обробки до табличних

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\phi v} \cdot K_{rv},$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки; K_{nv} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки; K_{uv} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструмента; $K_{\phi v}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію головного кута в плані різця; K_{rv} – коефіцієнт, що враховує радіус при вершині різця (враховується лише при обробці різцями з швидкоріжучої сталі).

Під час налагодження верстата необхідно встановити частоту обертання шпинделя верстата.

Розрахункову швидкість, що забезпечує оптимальне різання, визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}, \text{ об/хв.}$$

Основний технологічний час – час, протягом якого відбувається зняття стружки без особистої участі робітника, визначаємо за формулою:

$$T_0 = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i, \text{ хв,}$$

де L – шлях інструмента в напрямку робочої подачі, мм, визначається за формулою:

$$L = l + y + \Delta, \text{ мм}$$

де l – розмір оброблюваної поверхні в напрямку подачі; y – величина врізання, мм; Δ – величина перебігу, мм, $\Delta = 1 \div 2$ мм.

$$y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

де t – глибина різання, мм; φ – головний кут у плані різця; i – кількість проходів.

Виконати розрахунок режимів різання аналітичним способом



(за емпіричними формулами) згідно з заданим варіантом для обробки на токарно-гвинторізному верстаті. Марка верстата задана у вихідних даних.

Приклад розв'язання задачі

На токарно-гвинторізному верстаті 16K20 проводять чорнове точіння на прохід вала $D = 68$ мм до $d = 62$ мм. Довжина оброблюваної поверхні 280 мм; довжина вала $l_f = 430$ мм. Заготовка – поковка зі сталі 40Х з межею міцності $\sigma_s = 700$ МПа. Спосіб кріплення заготовки – в центрах і повідковому патроні. Система ВПД недостатньо тверда. Параметр шорсткості поверхні $Ra = 12,5$ мкм. Необхідно призначити різальний інструмент, режим різання, визначити основний час, а також виконати розрахунок, аналогічно до практичного завдання № 1.

Розв'язок

Вибір різального інструмента

Для обточування на прохід вала зі сталі 40Х приймаємо токарний прохідний різець прямий правий з пластинкою твердого сплаву Т5К10 [1].

Форма передньої поверхні радіусна з фаскою; геометричні параметри різальної частини різця: $\gamma = 15^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\phi = 60^\circ$, $\phi_1 = 15^\circ$, $r = 1$ мм, $f = 1$ мм.

Призначення режимів різання

Глибина різання.

При чорновій обробці припуск зрізуємо за один прохід:

$$t = h = \frac{D - d}{2} = \frac{68 - 62}{2} = 3 \text{ мм.}$$

Подача

Призначаємо для чорнової обробки заготовки з конструкційної сталі діаметром до 100 мм різцем перетином 16х25 (для верстата 16K20) при глибині різання до 3 мм, $S = 0,6 - 1,2$ мм/об.

Відповідно приймаємо $S = 0,8$ мм/об.

Швидкість різання, що допускається матеріалом різця, визначаємо за формулою:



$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м/хв,}$$

де $C_v = 340$; $x = 0,15$; $y = 0,45$; $m = 0,2$, $T = 60$ хв.

*Параметр T завжди приймемо рівним 60 хв.

Поправковий коефіцієнт для обробки з твердосплавною пластиною визначаємо за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\phi v}$$

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_g} \right)^{n_v},$$

де $K_r = 1$; $n_v = 1$

тоді

$$K_{mv} = \left(\frac{750}{700} \right)^{-1} = 1,07,$$
$$K_{nv} = 0,8; K_{iv} = 0,65; K_{\phi v} = 0,9$$
$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 3^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 1,07 \cdot 0,8 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 70,6 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання відповідно до знайденої швидкості різання:

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 70,6}{3,14 \cdot 68} = 330,6, \text{ об/хв.}$$

Корегуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата:

$n_0 = 315$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/хв;}$$

$$V_0 = \frac{3,14 \cdot 68 \cdot 315}{1000} = 67,3, \text{ м/хв.}$$



Основний час

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \text{ хв.}$$

Шлях різця $L = l + y + \Delta$, мм.

Врізання різця $y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi = 3 \operatorname{ctg} 60^\circ 0,58 = 1,7$ мм.

Перебіг різця $\Delta = 1,3$ мм.

Тоді $L = 280 + 1,7 + 1,3 = 383$ мм.

$$T_o = \frac{283}{315 \cdot 0,8} = 1,12, \text{ хв.}$$

Задача 2. Розрахунок режимів різання при свердлінні, зенкеруванні та розвірчуванні

Найбільш поширений метод одержання отворів різанням – свердління.

Рухом різання (головним рухом) при свердлінні є обертальний рух, рух подачі – поступальний. Як інструмент при свердлінні застосовуються свердла. Найбільш розповсюджені з них – спіральні, призначені для свердління і розсвердлення отворів, глибина яких не перевищує 10 діаметрів свердла. Шорсткість поверхні після свердління $R_a = 12,5 \dots 6,3$, точність згідно з 11...14 квалітетом. Градація діаметрів спіральних свердел повинна відповідати ГОСТ 885-88.

Для одержання більш точних отворів (8...9 квалітет) із шорсткістю поверхні $R_a = 6,3 \dots 3,2$ мкм застосовують зенкери. Діаметри стандартних зенкерів відповідають ГОСТ 1677-75. Розвірчування забезпечує виготовлення отворів підвищеної точності (5...7 квалітет) низької шорсткості до $R_a = 0,4$ мкм.

Виконавчі розміри діаметрів розгортки з інструментальних сталей наведені в ГОСТ 11174-83, із пластинами з твердого сплаву в ГОСТ 1173-83.

Відмітною рисою призначення режиму різання при свердлінні є те, що глибина різання $t = D/2$, при розсвердлюванні, зенкеруванні й розвірчуванні:



$$t = \frac{D - d}{2}, \text{ мм.}$$

При розсвердленні отворів подача, що рекомендується для свердління, може бути збільшена в 2 рази.

Порядок призначення інших елементів режиму різання аналогічний до призначення режимів різання при токарній обробці.

Середні значення припусків на діаметр, що знімаються зеркерами і розвертками, див. у [2].

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання розраховують за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv} \cdot K_{\phi v},$$

де K_{mv} – коефіцієнт, який враховує матеріал що обробляється; K_{iv} – коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу інструмента; K_{lv} – коефіцієнт, який враховує відношення глибин свердління до діаметру (для відношення 3; 4; 5; 6; 8 та 10 він дорівнює відповідно 1,0; 0,85; 0,75; 0,7; 0,6; та 0,5); $K_{\phi v}$ – коефіцієнт, який враховує заточування інструмента (для подвійного та криволінійного заточування $K_{\phi v} = 1,0$; для нормальної $K_{\phi v} = 0,9$).

Крутний момент при свердлінні визначається за формулою:

$$M_{кр} = 10 \cdot (60 \cdot v)^{-0,15} \cdot D^{1,9} \cdot S^{0,8},$$

де $M_{кр}$ – крутний момент, Н; v – швидкість різання, м/с; D – діаметр інструмента, мм; S – подача, мм.

Потужність, що витрачається на різання, кВт:

$$N = 2M_{кр}/D, \text{ кВт.}$$

Виконати розрахунок режиму різання за таблицями нормативів для обробки наскрізного отвору на вертикально-свердильному верстаті 2Н135 за заданим варіантом.

Порядок розв'язання задачі аналогічний до попередньої.



Приклад розв'язання задачі

На вертикально-свердильному верстаті 2Н135 обробити наскрізний отвір діаметром 25Н7 ($R_a = 1,6$ мкм), $l = 125$ мм. Матеріал заготовки СЧ18, HB210.

Необхідно: вибрати різальний інструмент, призначити режим різання згідно з таблицями нормативів, визначити основний час.

Розв'язок:

Вибір інструмента

Згідно з вихідними даними операція виконується в три переходи: свердління, зенкерування і розвірчування.

Для свердління чавуну СЧ18 HB210 згідно з [2] обираємо свердло $D = 22$ мм зі сталі Р18, заточене за методом В. Жирова, $2\varphi = 118^\circ$; для зенкерування – суцільний зенкер $2\varphi = 70^\circ$; $D = 24,9$ мм зі сталі Р18; $\varphi = 45^\circ$; для розвірчування – суцільну розгортку $\varphi = 10^\circ$; $D = 25$ мм, зі сталі Р18.

Вибір режимів різання

Розрахунок режимів різання виконаємо в традиційній послідовності з використанням даних роботи [2].

Перший перехід

Вибір подачі. Для свердління чавуну HB210 свердлом діаметром 22 мм обираємо подачу $S = 0,65 \dots 0,75$ мм/об з урахуванням поправкового коефіцієнту на довжину свердління $K_l = 0,9$.

Згідно з паспортними даними верстата встановлюємо найближчу подачу до розрахункової $S = 0,56$ мм/об.

Вибір швидкості і числа обертів.

$$n = l / S = 125 / 0,56 = 223 \text{ об./хв.}$$

З огляду на поправкові коефіцієнти $K_{nv} = 1,05$, на довжину свердління ($l = 5D$), $K_{lv} = 0,75$ і на механічні властивості сірого чавуну HB210, $K_{mv} = 0,88$ одержуємо розрахункову кількість обертів за хвилину.

$$n = n_{ш} \cdot K_{nv} \cdot K_{lv} \cdot K_{mv} \cdot 0,88 = 154,5 \text{ хв} \cdot 0,75 \cdot 1,05 = 396^{-1}.$$

Найближча кількість обертів за паспортом верстата $n = 180$ об./хв. Тоді фактична швидкість різання дорівнює:



$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 22 \cdot 180}{1000} = 12,4, \text{ м/хв.}$$

Перевірка обраного режиму за осьовим зусиллям і потужністю.

Для встановлених умов свердління $D = 22$ мм, $S = 0,56$ мм/об.
і $n = 180$ об./хв; розраховуємо крутний момент
 $M_{кр} = 65720$ Н·мм.

$$M = M_{кр} \cdot K_{мм} \cdot K_{фм} \cdot 1 = 69660 \cdot 1,06 = 65720 \text{ Н·мм.}$$

При всіх видах заточування $K_{фм} = 1,0$. Для нормального заточування $K_{фр} = 1,33$, з підточуванням перемички $K_{фм} = 0,66$.

При $M_{кр} = 69660$ Н·мм, $D = 22$ мм потужність, потрібну на різання: $N_{різ} = 3$ кВт.

Згідно з паспортними даними верстата потужність на шпинделі:

$$N_e = N_d \cdot \eta = 0,8 = 3,6 \text{ кВт}; 4,5 N_e \geq 3,6 N_{різ} = 3 \text{ кВт.}$$

Отже, верстат не лімітує обраного режиму різання.

Другий перехід

Вибір подачі. Для зенкерування отвору в сірому чавуні НВ210 зенкером діаметром 24,91 мм (25 мм) при подальшій обробці отвору однією розгорткою рекомендується подача $S = 0,55 \div 0,6$ мм/об. Найближча подача за паспортом верстата: $S = 0,56$ мм/об.

Вибір швидкості різання і кількості обертів

Виходячи з діаметра зенкера $D = 24,9$ (25) мм, для подачі $S = 0,56$ мм/об. Шляхом інтерполяції визначаємо кількість обертів $n_n = 329$ об./хв.

З урахуванням поправочного коефіцієнта на оброблюваний матеріал $K_{nv} = 0,85$ кількість обертів буде дорівнювати $n = n_n \cdot K_{nv} = 0,85 = 279$ хв $= 329^{-1}$.

Найближча кількість обертів за паспортом верстата $n_{ш} = 250$ хв⁻¹. Фактична швидкість різання:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 24,9 \cdot 250}{1000} = 19,6, \text{ м/хв.}$$

Розвірчування:

Вибір подачі. Для розгортання отвору в сірому чавуні НВ > 200 механічною розгорткою $D = 25$ мм із чистотою поверхні



отвору $R_a = 1,6$ мкм рекомендується подача $S = 1,9$ мм/об. Найближча подача за паспортом верстата $S = 1,6$ мм/об.

Вибір швидкості різання і кількості обертів

Для розвірчування отвору діаметром 25 мм із подачею 1,6 мм/об. рекомендується кількість обертів $n = 105$ об./хв. З урахуванням поправочного коефіцієнта на оброблюваний матеріал сірий чавун $HB > 200$, $K_{nv} = 0,85$. Тоді

$$n = n_{ш} \cdot K_{nv} 0,85 = 89 \text{ хв} = 105^{-1}.$$

Найближча кількість обертів відповідно до паспорта верстата

$$n = 90 \text{ хв}^{-1}.$$

Фактична швидкість обертів за паспортом верстата:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 90}{1000} = 7, \text{ м/хв.}$$

Визначення основного (технологічного) часу.

Величина врізання і перебігу інструментів l_l при роботі на прохід для свердла з подвійним заточенням дорівнює 12 мм; для зенкера 5 мм і для розгорнення 30 мм. При довжині отвору $l = 125$ мм основний (технологічний) час кожного переходу дорівнює:

$$t_{01} = \frac{l + l_l}{S \cdot n} = \frac{125 + 12}{0,56 \cdot 250} = 0,98, \text{ хв};$$

$$t_{02} = \frac{l + l_l}{S \cdot n} = \frac{125 + 5}{0,56 \cdot 250} = 0,93, \text{ хв};$$

$$t_{03} = \frac{l + l_l}{S \cdot n} = \frac{125 + 30}{1,6 \cdot 90} = 1,0, \text{ хв.}$$

Основний час операції $T_0 = t_{01} + t_{02} + t_{03} = 0,98 + 0,93 + 1,0 = 2,91$ хв.



Додаток Б

Контрольні питання

Теоретичні основи різання

1. Матеріали для виготовлення різальних інструментів (інструментальні сталі, тверді сплави).
2. Матеріали для виготовлення різальних інструментів (мінералокерамічні матеріали, абразивні матеріали, алмаз, надтверді синтетичні матеріали).
3. Вибір заготовки і припуск на механічну обробку. Рухи в металорізальних верстатах.
4. Основні методи обробки металів різанням.
5. Вплив геометричних параметрів токарного різця на процес різання.
6. Кінематичні кути (кути в русі) токарного різця.
7. Елементи режиму різання при точінні. Штучний та основний час.
8. Процес стружкоутворення при різанні металів. Види стружок.
9. Наклеп металу, усадка стружки.
10. Сили різання, крутний момент при точінні.
11. Потужність, середній тиск на різець при точінні.
12. Методика вибору режиму різання при точінні.
13. Елементи режиму різання при фрезеруванні. Площа перерізу шару, що зрізується.
14. Сили, крутний момент і потужність при фрезеруванні.
15. Швидкість різання і стійкість фрези.
16. Вибір режиму різання при фрезеруванні. Основний технологічний час при фрезеруванні.
17. Кути спірального свердла.
18. Елементи режиму різання при свердлінні, розсвердлюванні.
19. Сили різання, крутний момент і потужність при свердлінні.
20. Схеми обробки струганням і довбанням.
21. Елементи процесу різання при струганні і довбанні.
22. Стійкість шліфувального круга. Абразивність та зв'язка шліфувального круга. Зернистість.



23. Елементи процесу шліфування. Основний технологічний час при шліфуванні.
24. Сили різання і потужність при шліфуванні.
25. Методи формоутворення поверхонь деталей машин.
26. Вибір елементів різання при струганні, довбанні. Основний технологічний час при струганні і довбанні.
27. Теплота, що виникає при різанні металу. Наріст металу при різанні.
28. Елементи режиму різання при зенкеруванні і розвірчуванні.

Конструкція верстатів і інструменту

1. Класифікація і маркування металорізальних верстатів.
2. Способи кріплення деталей на токарному верстаті.
3. Точіння конусів на токарно-гвинторізному верстаті.
4. Основні частини фрезерного верстату і їх призначення.
5. Будова і робота ділильної головки.
6. Багаторізцеві, карусельно- і токарно-револьверні верстати.
7. Види токарних різців.
8. Група свердильних верстатів. Основні вузли, пристрої, які застосовуються при свердлінні.
9. Способи нарізання різьб на токарно-гвинторізних верстатах. Пристрої та інструменти.
10. Група стругальних, довбальних та протяжних верстатів.
11. Зубо- і різьбо-оброблюючі верстати.
12. Умовні позначення кінематичних схем металорізальних верстатів. Передаточне відношення, загальне передаточне відношення і подача для рейкової та гвинтової пари.
13. Просте, безпосереднє і диференційне ділення на ділильній головці УДГ-135.
14. Основні параметри токарних різців (основні частини, елементи і площини різця).
15. Геометричні параметри токарних різців (кути токарного різця).
16. Типи фрез і основні види (схеми) фрезерних робіт.
17. Елементи різальної частини фрези.
18. Утворення і обробка отворів на свердильних верстатах.
19. Типи свердл. Будова спірального свердла.



20. Зенкери і розвертки (типи, складові частини і кути).
21. Стругальні і довбальні різці.
22. Методи нарізання зубів зубчастих коліс (копіювання).
23. Методи нарізання зубчастих коліс (огинання, її види).
24. Зв'язка і зернистість абразивних матеріалів.
25. Види шліфування.
26. Загальна компоновка металорізальних верстатів (корпусні деталі, шпіндельні вузли).
27. Загальна компоновка металорізальних верстатів (передаточні механізми, механізми періодичного руху).





Література

1. Пахаренко В. Л. Лабораторний практикум з обробки металів різанням: Навчальний посібник. – Рівне : РДТУ, 1997. – 140 с.
2. Пахаренко В. Л. Лабораторний практикум з обробки металів різанням: Навчальний посібник. – Рівне : РДТУ, 1999. – 95 с.
3. Пахаренко В. Л., Марчук М. М., Івасюк П. І. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (обробка металів різанням, тиском та зварювання). Лабораторний практикум. Навчальний посібник. – Рівне : НУВГП, 2013. – 126 с.
4. Пахаренко В. Л. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство (Обробка металів різанням) Навчальний посібник. В. Л. Пахаренко. – Рівне : НУВГП, 2001. – 178 с.
5. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т: Т. 1 / Под ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р. К. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
6. Справочник технолога машиностроителя. В 2 т: Т. 2 / Под ред. Косиловой А. Г. и Мещерякова Р. К. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
7. Гапонкин В. А., Лукашев П. К., Суворова Т. Г. Обработка резанием, металоорежущий инструмент и станки. – М. : Машиностроение, 1990. – 442 с.
8. Дриц М. Е., Москалев И. А. Технология конструкционных материалов и материаловедение. – М. : Выс. шк., 1990. – 440 с.
9. Фещенко В. Н., Махмутов Р. Х. Токарная обработка. – М. : Выс. шк., 1984. – 228 с.
10. Казаков Н. Ф., Осокин А. М., Шишкова А. П. Технология металлов и других конструкционных материалов. – М. : Металлургия, 1975. – 688 с.
11. Барбашов Ф. А. Фрезерное дело. – М. : Выс. шк., 1975. – 214 с.
12. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под ред. Панова А. А. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
13. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство (підручник для студ. вищ. навч. закл.) В. В. Попович – Львів : Світ. 2006. – 624 с. – ISBN 966–603–452–2
14. Пахолок А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні



матеріали (підручник для студ. вищ. навч.закл.) А. П. Пахолук, О. А. Пахолук. – Львів : Світ. 2005. – 172 с. – ISBN 966–603–387–9.

15. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів (навч.посібник для учнів. проф. навч. закл.) В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко, К. Г. Лопатько, – К. : Либідь, 2002. – 328 с. – ISBN 966–06–0247–2.

16. ГОСТ 1435–99 Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия.

17. ГОСТ 5950–2000 Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия.

18. ГОСТ 19265–73 Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия.





Національний університет
водного господарства
та природокористування

Навчальне видання

*Пахаренко Володимир Леопольдович
Марчук Микола Михайлович
Пахаренко Ольга Володимирівна*

ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

Навчальний посібник

Друкується в авторській редакції

Технічний редактор

Г.Ф. Сімчук

Підписано до друку 27.12.2017 р. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Ум.-друк. арк. 14,7. Обл.-вид. арк. 15,4.
Тираж 100 прим. Зам. № 5341.

*Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої
продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*