

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв, Є. С. Пуховський

Проектування і виробництво заготовок

Підручник

*Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів машинобудівних спеціальностей
вищих навчальних закладів*

Київ
НТУУ «КПІ»
2014

УДК 621.73. 073
ББК 34.61, 34.62
П27

*Гриф надано Міністерством
освіти і науки України
(Лист № 1/11-7206 від 14.05.2014 р.)*

Рецензенти: А. С. Зенкін, завідувач кафедри, д-р техн. наук, проф.,
Київський національний університет технологій і дизайну,
Заслужений діяч науки і техніки України

В. І. Лавріненко, д-р техн. наук, старш. наук. співроб.,
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
Національної академії наук України

В. А. Пасічник, завідувач кафедри, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Відповідальний В. М. Кореньков, канд. техн. наук, доц.,
редактор: Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С.
П27 Проектування і виробництво заготовок / підручник. –
К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с. – Бібліогр.: с. 346 – 353 – 500 пр.
ISBN 978-966-7599-81-2

Розглянуті питання проектування і виробництва литих, кованих, штампованих, зварних, пластмасових заготовок, а також заготовок з металевих порошків та прокату. Особливу увагу приділено виготовленню та проектуванню литих та штампованих заготовок, які найширше застосовуються. При проектуванні заготовок ураховувались вимоги до технологічності конструкції, економії матеріалу, забезпечення низької собівартості, оптимізації їх конструктивних елементів. Значне місце займають питання порівняння різних способів виготовлення заготовок і вибору найкращого.

Для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів I-IV рівнів акредитації, інженерно-технічних працівників, технологів та конструкторів інженерно-механічного напрямку.

УДК 621.73. 073
ББК 34.61, 34.62

ISBN 978-966-7599-81-2

© Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С., 2014
© НТУУ «КПІ», 2014

ЗМІСТ

СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	5
1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК	7
1.1. Методи та способи виготовлення заготовок	7
1.2. Способи виготовлення литих заготовок та їх характеристики	12
1.3. Способи виготовлення заготовок куванням та об'ємним (гарячим) штампуванням	16
2. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК	20
2.1. Матеріали, які застосовуються для виготовлення литих заготовок	20
2.2. Послідовність виготовлення виливка	31
2.3. Основи проектування та виготовлення ливарної оснастки	37
2.4. Формові матеріали і суміші	44
2.5. Виготовлення ливарних форм та стержнів	54
2.6. Ливникові системи	65
2.7. Проектування ливарної технології	74
3. СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ЛИТТЯ	101
3.1. Лиття в оболонкові форми	101
3.2. Лиття за моделями, що виплавляються	105
3.3. Лиття в кокіль	108
3.4. Лиття під тиском	112
3.5. Відцентрове лиття	119
3.6. Інші спеціальні способи лиття	122
4. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ КОВАНИХ І ШТАМПОВАНИХ ЗАГОТОВОК	128
4.1. Основи теорії обробки металів тиском	128
4.2. Фізичні основи нагрівання металу і температурний інтервал обробки	139
4.3. Кування	150
4.4. Гаряче штампування на молотах	169
4.5. Штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах	194
4.6. Штампування на горизонтально-кувальних машинах	204
4.7. Інші види об'ємного штампування	216
4.8. Обробка заготовок після гарячого об'ємного штампування. Види дефектів та контроль якості поковок	229
5. ЗВАРНІ ТА ІНШІ ЗАГОТОВКИ	240
5.1. Зварні заготовки	240
5.2. Заготовки, що виготовляються методом порошкової металургії	255

5.3.	Виготовлення деталей та заготовок з пластмас	262
5.4.	Заготовки з прокату	273
5.5.	Вибір раціонального способу виготовлення заготовок	278
6.	СУЧАСНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК	290
6.1.	Отримання заготовок адитивними технологіями	290
6.2.	Отримання металевих виливків у сучасному виробництві	292
6.3.	Сучасні методи розкрою листового металу	305
6.4.	Отримання заготовок сучасними методами штампування	322
	Додаток 1.	
	Створення бази даних програмного засобу «САПР Виливок»	322
	Додаток 2.	
	Математичне моделювання процесу гарячого об'ємного штампування з використанням метода кінцевих елементів	329
	РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	346

СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ОВ – одиничне виробництво;
СВ – серійне виробництво;
МВ – масове виробництво;
МСВ – малосерійне виробництво;
ССВ – середньосерійне виробництво;
ВСВ – великосерійне виробництво;
ТУ – технічні умови;
ВЧКГ – високоміцний чавун з кулястим графітом;
ТП – технологічний процес;
ЛФ – ливарна форма;
ФС – формова суміш;
СС – стержньова суміш;
ФМ – формови матеріали;
ВТК – відділ технічного контролю;
МК – модельний комплект;
ММ – металеви моделі;
МРВ – металорізальні верстати;
ПМ – пластмасові моделі;
ГМ – газифіковані моделі;
ХТС – хімічно твердіючі суміші;
М – монтморилонітові (бентонітові) формові глини;
К - каолінітові формові глини;
Г – гідрослюдисті формові глини;
П – полімінеральні формові глини;
ПСС - пластичні самотвердіючі суміші;
РСС – рідкі самотвердіючі суміші;
ЛС - ливникова система;
ЛФ – ливарна форма;
ВР-1 – розміри елементів виливка, що утворюються однією частиною форми або одним стержнем;
ВР-2 – розміри елементів виливка, що утворюються двома напівформами, а також перпендикулярні до площини рознімання форми і перетинають її;
ВР-3 – розміри елементів виливка, що утворюються трьома і більше частинами форми, декількома стержнями або рухомими елементами, а також товщини стінок;
ЛОФ – лиття в оболонкові форми;
ОФ – оболонкові форми;
НФ – напівформи;
ЛВМ – лиття за моделями, що виплавляються;

ЛК – лиття в кокілі;
МФ – металеві форми;
ЛТ – лиття під тиском;
ПФ – прес-форма;
ВЛ – відцентрове лиття;
БЛ – безперервне лиття;
ЕШЛ - електрошлакове лиття;
ВШ – вибілений шар;
САП – система автоматизованого проектування;
ТПВ – технологічна підготовка виробництва;
Г АВ – гнучке автоматизоване виробництво;
ОМТ – обробка металів тиском;
ГШ – гаряче штампування;
ГШМ – гаряче штампування на молотах;
ШМ – штампування на молотах;
КГШП – кривошипні гарячештампвальні преси;
ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;
ГКМ – горизонтально-кувальна машина;
ФП – фрикційний прес;
ГП – гідравлічний прес;
ГЗМ – горизонтально-згинальна машина;
РКМ – ротаційно-кувальна машина;
ВА – висаджувальний автомат;
ІШ – ізотермічне штампування;
ШВ – штампвальне вальцювання;
ТО – термічна обробка;
ЗШ – зварний шов;
ШП – швидке прототипування;
ЛГМ – лиття за газифікованими моделями;
ЛКМ - лиття за крижаними моделями;
ВПФ – вакуумно-плівкове формування;
ЧПК – числове програмне керування;
ВР – вибухові речовини;
МІОМ – магніто-імпульсна обробка металів;
НДС - напружено-деформований стан;

1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК

1.1. Методи та способи виготовлення заготовок

Вступ

Машинобудування – ведуча галузь народного господарства і найважливішим її завданням є підвищення продуктивності праці і якості продукції, а також зниження її металомісткості.

Великі резерви зменшення розходу металу, підвищення якості продукції і зниження її собівартості приховані в удосконаленні заготовчого виробництва. Впровадження нових та удосконалення діючих технологічних процесів виготовлення литих, штампованих, пресованих та інших заготовок дозволяє підвищити продуктивність виготовлення та якість заготовок, зменшує припуски на обробку різанням і, таким чином, не тільки зменшує розхід металу, але і полегшує забезпечення необхідної якості при подальшій обробці різанням. Установлено, що вартість обробки різанням часто складає основну долю у вартості виготовлення деталі, тому зменшення її об'єму підвищує економічні показники виробництва.

Необхідність економії затрат праці та матеріальних ресурсів пред'являє високі вимоги до розробки раціональної конструкції заготовки, її технологічності і способу виготовлення, що приводить до зниження собівартості продукції, економії матеріалу та енергозатрат, підвищення надійності і довговічності машин.

Правильно вибрати спосіб отримання заготовки означає призначити найкращий процес її виготовлення з урахуванням матеріалу деталі, її конфігурації, розмірів та маси, точності та якості поверхонь, серійності випуску та умов експлуатації [3,4,111,120].

У машинобудуванні застосовують багато способів отримання якісних заготовок, що, з одного боку, дозволяє вибрати найбільш підходящий, а з іншого – затрудняє вибір оптимального з великої кількості можливих. Для прийняття правильного рішення необхідно виконати порівняльний техніко-економічний аналіз розглянутих варіантів. Але в усіх випадках прийнятий спосіб виготовлення деталі повинен сприяти підвищенню ефективності праці як при виготовленні заготовки, так і при її механічній обробці різанням, зменшенню металоємності, підвищенню якості, довговічності і надійності роботи машин.

Особливо важливо вибрати раціональний спосіб виготовлення заготовок в умовах їх автоматизованої обробки на верстатах з ЧПК або на попередньо налагоджених верстатах. У цьому випадку, з однієї сторони, необхідно забезпечити достатній припуск на обробку різанням для

забезпечення високої точності оброблених поверхонь, а з іншої – мінімальний припуск, щоб зменшити розхід металу і обсяг обробки різанням. Наявність ливарних та штампувальних уклонів, перемінних напусків по довжині оброблюваних поверхонь тощо приводить до зміни глибини різання в процесі обробки, сил різання та пружних деформацій системи „верстат-деталь”, що затрудняє отримання необхідної точності обробки. Тому вибір раціонального способу отримання заготовки з урахуванням її подальшої механічної обробки різанням має суттєве значення.

Для того, щоб студенти, які навчаються за напрямом підготовки „Інженерна механіка”, могли правильно спроектувати заготовку, підібрати спосіб її виготовлення і призначити припуски на обробку, введено вивчення дисципліни „Проектування та виробництво заготовок”.

Програмою курсу передбачено більш глибоке вивчення литих, кованих та штампованих заготовок, які найширше розповсюджені. Менше уваги приділяється вивченню зварних, пластмасових, заготовок з прокату та одержаних методом порошкової металургії.

Лиття – один із стародавніх методів обробки металів. Ще скіфи 2,5 тисяч років тому в Придніпров’ї та Приазов’ї відливали прикраси з золота та бронзи. Неперевершеними у виготовленні гармат та дзвонів були російські ливарники 14-17 століття. У 1586 р. Андрієм Чоховим відлита „Цар-гармата” масою 38,4 т, у 1735 р. Іваном Моторним – „Цар-дзвін” масою біля 200 т. Запорізькі козаки виливали стволи та інші деталі гармат.

Чудові зразки ливарного мистецтва - пам’ятники Богдану Хмельницькому в Києві, Петрові І у Санкт-Петербурзі, Мініну та Пожарському в Москві тощо.

У середині 18 ст. основи науки про метали заклав М.В. Ломоносов. Визначні російські вчені Д.К. Чернов, А.С. Лавров, Н.В. Калануцький дали наукове обґрунтування багатьом явищам лиття, в тому числі викрили причини утворення газових раковин, ліквацій, внутрішніх напружень та інше. Надзвичайно бурхливо ливарне виробництво розвивалося на початку перших п’ятирічок, у тому ж числі і на території сучасної України.

Тепер в усіх країнах світу виготовляється біля 80 млн. т литва, у тому числі в минулому СРСР (1987 р.) понад 25 млн. т, тобто біля 1/3 світового випуску. Виріс випуск ливарних машин та автоматичних ліній на заводах „Амурлитмаш”, „Сиблитмаш”, Тираспольському і Павлоградському та інших. У різних регіонах СРСР були побудовані „Центролиты” – спеціалізовані заводи для виробництва виливків. Потужні ливарні виробництва є на ГАЗ, КамАЗ, ЗІЛ, ХТЗ, „Уралмаш” та інших підприємствах.

Обробка металів тиском полягає в зміні форми заготовки без

порушення суцільності, тобто в пластичній деформації під дією зовнішніх сил. Українські ковалі славились виготовленням різної зброї та товарів побуту. Широкому впровадженню процесів обробки тиском сприяли теоретичні роботи радянських та зарубіжних учених: С.І. Губкіна, А.А. Ілюшина, М.В. Сторожева, А.І. Целікова, Г. Закса, Е. Томсона, У. Джонсона та інших. Процеси обробки тиском відрізняються високою продуктивністю. Наприклад, при прокатці швидкість сягає 20-30 м/с, при гарячому об'ємному штампуванні за хвилину виготовляється 2-3 заготовки, а при холодному на прес-автоматі до 1500 дрібних деталей за 1 хвилину (з стрічки).

У СРСР обробці тиском піддавали приблизно 90% усієї виплавленої сталі і 55% кольорових металів та сплавів. Понад 1/3 усієї сталі, яка виплавляється, переробляється куванням та штампуванням.

Передбачається випереджаючий ріст ковальсько-пресового обладнання у порівнянні з металорізальними верстатами (за винятком верстатів з числовим програмованим керуванням).

У галузі зварювання особливо необхідно виділити досягнення інституту електрозварювання ім. Патона в Києві.

Із зарубіжних країн у галузі виготовлення різних заготовок особливо необхідно відмітити досягнення Великобританії, Німеччини, пізніше США і Японії, останнім часом Китаю та Індії. [7,51,52,95,111]

Основні вимоги, які пред'являються до заготовок, та шляхи їх забезпечення

Заготовка – це предмет праці, з якого зміною форми, розмірів, якості поверхні та матеріалу виготовляють деталь.

Як заготовки деталей масою від часток грама до десятків тонн можуть використовуватися зливки, прокат, виливки, ковані та штамповані заготовки, порошкові та пластмасові напівфабрикати. Особливу групу утворюють комбіновані заготовки, які отримують зварюванням та склеюванням прокату, виливків, поковок тощо.

Прогресивні заготовки повинні відповідати таким вимогам:

форма та розміри заготовки повинні максимально наближуватись до форми та розмірів готової деталі або відповідати їм;

мати низьку вартість виготовлення як самої заготовки, так і деталі;

забезпечувати можливість досягнення високої точності розмірів, заданої шорсткості поверхонь та якості матеріалу деталі;

форма заготовки повинна бути, по можливості, простою і технологічною у виготовленні, забезпечувати високий вихід придатної продукції;

сприяти спеціалізації робочих місць, застосуванню механізації та

автоматизації;

забезпечувати підвищення продуктивності праці та використання повної потужності обладнання.

У загальному випадку собівартість виготовлення деталі, яка складається з вартості матеріалу, вартості одержання заготовки і вартості механічної обробки, повинна бути мінімальною.

У цілому заготовка повинна бути технологічною у виготовленні. Під технологічністю розуміється властивість виробу, яка дозволяє при його виготовленні застосувати найбільш прості, продуктивні та дешеві способи виготовлення з забезпеченням необхідної якості. Технологічність суттєво залежить від річної програми випуску виробів (типу виробництва). Розрізняють три типи виробництва: одиничне (ОВ), серійне (СВ) та масове (МВ). Серійне виробництво, в свою чергу, розділяється на малосерійне (МСВ), середньосерійне (ССВ) та великосерійне (ВСВ) [3,4,47,50,89,119].

Матеріал або напівфабрикат, з якого отримують заготовку, називають вихідним матеріалом або вихідною заготовкою. Наприклад, ливарний (в чушках) чавун, звичайний і періодичний прокат, металеві та неметалеві порошки, гума, дерево та інші.

За технологічним принципом заготовки поділяють на такі види:

виливки - це заготовки, які отримують шляхом заповнення порожнини форми рідким металом, що твердіє у цій формі;

поковки - це заготовки, які одержують методом пластичної деформації металу при куванні або штампуванні;

зливки, прокат - це заготовки, які отримують методом лиття рідкого металу у виливниці, а також шляхом обробки тиском зливків на прокатних та інших станах;

заготовки, які отримують з металевих порошків методами порошкової металургії;

пластмасові заготовки, які отримують литтям або пресуванням неметалевих матеріалів на основі полімерних смол;

заготовки з природних або синтетичних матеріалів (дерева, гуми, каменю, тощо);

комбіновані заготовки з металевих і неметалевих матеріалів, що одержують зварюванням, паянням, склеюванням тощо.

На вибір технологічного процесу виготовлення заготовок впливають наступні фактори:

конфігурація та розміри деталі;

технологічні властивості матеріалу деталі, тобто його здатність оброблюватись литтям, тиском, зварюванням;

річна програма випуску або тип виробництва, чим більша програма, тим досконаліший технологічний процес можна застосувати, тому що

висока вартість обладнання та оснастки буде рознесена на велику кількість заготовок;

необхідна точність виконання заготовки та якість поверхні (шорсткість, наклеп тощо);

маса деталі (литі деталі масою до 500 кг, як правило, можна виготовляти спеціальними способами лиття, ковані заготовки масою до 400 кг - в штампах);

виробничі властивості заготовчих цехів, тобто наявність відповідного обладнання, його завантаження, можливості швидкого переналагодження обладнання та оснащення тощо;

час, що витрачається на підготовку виробництва (проектування та виготовлення моделей, прес-форм, штампів);

необхідні умови додержання охорони праці та середовища.

Технологічний процес виготовлення заготовки повинен відповідати певним технічним та техніко-економічним вимогам.

Технічні вимоги регламентовані кресленням заготовки і технічними умовами (ТУ) на її виготовлення, стандартами, нормами тощо. У них установлені обмеження за хімічним складом, мікроструктурою, фізико-механічними властивостями, геометричною формою та розмірами, станом поверхні та допустимими дефектами.

До техніко-економічних показників відносяться: зниження затрат праці, енергії та матеріалів на виготовлення заготовки; скорочення втрат на брак; призначення мінімальних припусків на обробку різанням тощо.

При розробці техпроцесу на початку установлюють найбільш вірогідні методи виготовлення заготовок, перевіряють можливість і доцільність застосування комбінованих заготовок (литво-зварювання, прокат-зварювання, кування-зварювання тощо).

Після призначають спосіб формоутворення заготовки (лиття в піщані, оболонкові або металеві форми; кування в підкладних, або штампування у відкритих чи закритих штампах тощо), а також обладнання, від якого залежить продуктивність, точність виготовлення заготовок, припуски на обробку різанням, уклони і таке інше (наприклад, при штампуванні - молоти, преси, горизонтально-кувальні машини). При наявності декількох способів, які забезпечують необхідну якість заготовок, вибирають економічно найбільш вигідний, що забезпечує найвищий коефіцієнт використання металу, мінімальну собівартість і трудомісткість, максимальну продуктивність і можливість механізації та автоматизації.

У загальному випадку корпусні коробчасті порожнисті деталі закритого типу (шпиндельні бабки, корпуси редукторів, блоки циліндрів) незалежно від типу виробництва доцільно виготовлювати литтям або зварюванням. Заготовки зубчастих коліс, маховиків, корпусів без закритих

порожнин, кришок, важелів, кронштейнів та інших деталей виготовляють литтям або куванням. Заготовки гладких та ступінчастих валів, тяг, деталей великої довжини і малого поперечного перерізу, в основному, виготовляють куванням, штампуванням або з прокату [3,4,47,89,119,121].

Порівнюючи техніко-економічні показники різних методів і способів виготовлення заготовок, вибирають найбільш підходящий. При цьому слід пам'ятати, що при виборі способу отримання заготовки, головне - забезпечення необхідної якості деталі при мінімальній її собівартості.

1.2. Способи виготовлення литих заготовок та їх характеристики

Литі заготовки застосовують в усіх типах виробництва для отримання заготовок корпусних та інших деталей з чавуну, сталі, кольорових сплавів. Однак міцність литих сталевих заготовок приблизно на 30 % нижча від кованих, що обмежує їх застосування.

З усіх виливків за масою ~ 74 % виготовляють з чавуну, 21 % - з сталі, 3 % - з ковкого чавуну і 2 % - з кольорових сплавів; 75 % виливків відливають у піщано-глинисті форми, 20 % - у металеві, 5 % - в інші.

У табл. 1.1 наведена класифікація основних способів лиття, указані застосовувані ливарні форми, область застосування та тип виробництва.

Метод лиття добре розроблений і на нього є ряд стандартів. Особливої уваги заслуговує ГОСТ 26645-85 „Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку”. За цим стандартом усі виливки за величиною допуску розділяються на 16 класів точності. Крім того, деякі класи мають ще і підкласи (3т, 5т, 7т, 9т, 11т, 13т), тобто усього передбачено 22 градації виливків за точністю. Досяжні класи за точністю наведені в табл. 1.2. У табл. 1.3 наведені орієнтовні характеристики точності і якості поверхонь виливків. Порівняльні характеристики різних способів лиття наведені в табл. 1.4.

Вартість виливків можна визначити за Прейскурантом № 25-01 1990 р. з введенням індексації, яка враховує співвідношення між курсами карбованця СРСР та гривні на момент визначення вартості виливка. За ним вартість 1т виливків середньої маси і складності з сірого чавуну при литті в піщано-глинисті форми з машинним формуванням за металевими моделями приблизно складає 7200 гр. Якщо цю вартість прийняти за 1, то вартість 1 т виливків з конструкційної вуглецевої сталі 20Л складає 1,6; вартість 1т литва з ковкого чавуну -1,3; вартість 1 т литва з алюмінієвих сплавів у піщані форми – 6 (за рахунок високої вартості сплавів); вартість 1 т чавунного литва в кокіль – 1...1,1 (для ССВ, ВСВ, МВ), а відносна вартість литва з чорних сплавів за моделями, що виплавляються – 4...4,5.

Таблиця 1.1

Класифікація способів лиття

<i>Спосіб лиття</i>	<i>Ливарна форма</i>	<i>Область застосування</i>	<i>Виробництво</i>
У піщані форми	З піщано-глинистої суміші разового застосування	Великогабаритні корпусні деталі з товщиною стінки 5-15 мм з чавуну, сталі, кольорових металів та сплавів	М, ВС, СС, МС, О
У піщані форми (формування в стержнях)	З піщаної суміші з закріплювачем разового застосування	Деталі середньої складності (з зовнішніми ребрами) з чавуну, сталі, кольорових металів та сплавів	М, ВС, СС, МС
У кокіль	Металева багаторазового застосування	Деталі нескладної конфігурації з товщиною стінок 5-12 мм з алюмінієвих та магнієвих сплавів, рідше з чавуну та бронзи	М, ВС, СС
В оболонкові форми	Піщано-смоляна разового застосування, яка хімічно твердіє	Плоскі деталі та колінвали нескладної конфігурації з легованих сталей, чавуну і кольорових металів та сплавів	М, ВС, СС
Під тиском	Металева багаторазового застосування	Тонкостінні корпусні деталі складної конфігурації з алюмінієвих, цинкових та магнієвих сплавів, а також з латуні	М, ВС, СС
За моделями, які виплавляють	Керамічна разового застосування	Невеликі деталі складної конфігурації з стінками різної товщини з конструкційних і жароміцних сталей, чавунів, магнітних, мідних, рідше з алюмінієвих сплавів	М, ВС, СС, МС
Відцентрове	Металева багаторазового застосування	Втулки з чавуну, сталі та бронзи, порожнисті заготовки нескладної конфігурації типу «тіла обертання»	М, ВС, СС
У графітові форми	Використовується до 300 разів	Деталі з жароміцних чавунів, сталі та жароміцних сплавів	СС, МС

Тут та далі: М – масове, ВС – великосерійне, СС – середньосерійне, МС – малосерійне, О – одиничне.

Таблиця 1.2

**Класи точності розмірів та мас і ряди припусків на механічну обробку
виливків для різних способів лиття
(ГОСТ 26645-85)**

Спосіб лиття	Найбіль- ший габарит- ний розмір виливка, мм	Типи металів та сплавів		
		кольорові з температурою плавлення нижчою 700° С	кольорові з температурою плавлення вищою 700° С, сірий чавун	Ковкий, високоміцний та легований чавун, сталь
		Класи точності розмірів і мас виливків та ряди припусків		
Лиття під тиском у металеві форми	До 100	$\frac{3T-5}{1}$	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1}$
	Зв. 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1}$	$\frac{5T-7}{1}$
Лиття в керамічні форми та за моделями, які виплавають або випалюють	До 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1-2}$	$\frac{5T-7}{1-2}$
	Зв. 100	$\frac{4-7}{1-2}$	$\frac{5T-7}{1-2}$	$\frac{5-8}{1-2}$
Лиття в кокіл та під низьким тиском у металеві форми без і з піщаними стержнями, лиття в піщані форми, які твердіють у контакті з оснасткою	До 100	$\frac{4-9}{1-2}$	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$
	Зв. 100 до 630	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$
	Зв. 630	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-5}$
Лиття в піщані форми, які твердіють у контакті з оснасткою, відцентрове, в сирі та сухі піщано- глинисті форми	До 630	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-4}$	$\frac{7-13T}{2-5}$
	Зв. 630 до 4000	$\frac{7-12}{2-4}$	$\frac{8-13T}{3-5}$	$\frac{9T-13}{3-6}$
	Зв. 4000	$\frac{8-13T}{3-5}$	$\frac{9T-13}{3-6}$	$\frac{9-14}{4-6}$

Примітка: У чисельнику вказані класи точності розмірів та мас, у знаменнику – ряди припусків. Менші їх значення відносяться до простих виливків та умов масового автоматизованого виробництва; більші значення – до складних виливків малосерійного і одиничного виробництва; середні – до виливків середньої складності в умовах механізованого серійного виробництва. Класи точності мас необхідно приймати відповідними до класів точності виливків.

Таблиця 1.3

Точність та якість поверхонь виливків (орієнтовно)

Спосіб лиття	Квалітети точності							Параметри шорсткості поверхонь, мкм	
	10	11	12-13	14	15	16	17	R _z	R _a
Під тиском	+	+	+	+	+				2,5-0,32
За моделями, які виплавляють			+	+					2,5-1,25
У кокіль			+	+	+	+			-
В оболонкові форми		+	+	+					-
У піщано-глинисті форми					+	+	+	320-40	
У стержнях					+	+		160-40	
Відцентрове			+	+	+	+		160-20	
У графітові, гіпсові, шамотні та металокерамічні форми			+	+	+	+		160-10	

Таблиця 1.4

Порівняльні характеристики основних способів лиття

Показники	Під тиском	За моделями, які виплавляють	У кокіль	В оболонкові форми	У піщані форми
Продуктивність	I	V	II	III	IV
Зростання економічності зі збільшенням серії	I	V	II	IV	III
Вихід придатного	I	II	V	IV	III
Вартість оснастки	V	II	IV	III	I
Тривалість освоєння	V	III	II	IV	I
Складність конструкції	III	I	V	IV	II
Тонкостінність	III	I	V	IV	II
Можливість використання різних сплавів	V	I	IV	III	II
Допуски на розміри	I	II	IV	III	V

Позначення: I – найвищі; V – найнижчі

1.3. Способи виготовлення заготовок куванням та об'ємним (гарячим) штампуванням

Обробкою тиском отримують заготовки за допомогою кування, штампування та інших спеціальних процесів. Перед куванням та штампуванням вихідний метал (прутки, зливки та інше) готують до обробки: очищують, розрізають на частини, вибирають температурний режим нагрівання, нагрівальне обладнання тощо.

Кування - обробка металів тиском місцевим прикладанням деформуючих навантажень за допомогою універсального підкладного інструмента або бойків.

Штампування - обробка металів тиском за допомогою штампів.

У залежності від температурного стану вихідної заготовки кування і штампування розділяють на холодне та гаряче [2-4,6,8,10,55,60,64,96,101].

Штампування, виходячи з профілю вихідної заготовки, також розділяють на два типи: листове та об'ємне. Штампування може бути в відкритих або закритих штампах. При штампуванні в відкритих штампах передбачають зазор між подвижною і неподвижною частинами штампу, який є змінним. При штампуванні в закритих штампах метал деформується в закритому просторі і зазор між частинами штампа постійний і незначний.

Кування застосовують в ОВ та МСВ поковок різних форм та розмірів з сталей, рідше з деяких кольорових сплавів. Чавуни, навіть ковкі, гарячим деформуванням не оброблюються. Штампування застосовується в ССВ, ВСВ і МВ.

Основні характеристики різних способів обробки тиском наведені в табл. 1.5.

Вартість штампованих поковок можна визначити за Прейскурантом № 25-01 1990 р. з введенням індексації, яка враховує співвідношення між курсами карбованця СРСР та гривні на момент визначення вартості поковки.

При проектуванні штампованих заготовок необхідно враховувати ГОСТ 7505-89 „Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски”. За цим стандартом штамповані заготовки за точністю розділяються на 5 класів (Т1,...,Т5), а за складністю - на 4 ступені (С1,...,С4). Важливим є також ГОСТ 8479-85 „Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Технические требования”.

Крім розглянутих вище застосовують заготовки з прокату, зварювані заготовки, заготовки з пластмас і металевих порошків.

Відносна собівартість виготовлення деталей різними способами у залежності від їх складності, маси та річної програми випуску наведена в табл. 1.6.

Таблиця 1.5

**Характеристики способів виготовлення заготовок тиском з
вуглецевих та легованих сталей, спеціальних сплавів**

Способи виготов- лення заготовок	Розміри (або маса)		Складність форми заготовки	Точність виготов- лення заготовок	Параметри шорсткості поверхонь	Тип вироб- ництва
	Найбі- льші	Наймен- ші				
1	2	3	4	5	6	7
1. Вільне кування на молотах і пресах	250 т	Товщина стілки 3-5 мм	Проста	ГОСТ 7829-70 і ГОСТ 7062-79	R_z 160-320	О, МС
2. Кування на молотах і пресах з підкладни- ми штампами	100 кг	Теж	Середньої складності	Т5 ГОСТ 7505-89	R_z 160-320	О, МС
3. Кування на радіально- кувальних ротаційних машинах (гаряче та холодне)	Діа- метр прутка (труби) поряд- ку 100 мм	Діаметр прутка порядку 1 мм	Ступін- часті тіла обертання	0,04-0,4 мм (холодне), 0,1-0,6 мм (гаряче)	R_a 0,32- 0,63	ВС, СС
4. Штампую- вання на молотах та пресах	200 кг	Товщина стілки 2,5 мм	Обмежена можли- вістю витягання заготовки з штампа	Т3-Т5 ГОСТ 7505-89	R_z 160-320	М, ВС, СС
5. Штампую- вання з наступним карбуван- ням	100 кг	Теж	Теж	0,05-0,1 мм	R_z 10-40	Теж
6. Штампую- вання (висадка) на горизон- тально- кувальних машинах	100 кг	0,1 кг	Середньої складності	Т4-Т5 ГОСТ 7505-89	R_z 160-320	М, ВС, СС

Закінчення табл.1.5

1	2	3	4	5	6	7
7. Штампуння видавлюванням	Діаметр до 200 мм	Товщина стілки від 1,5 мм (алюмінієві сплави)	Прості (переважно тіла обертання)	0,2-0,5 мм	R _z 80-320	М, ВС, СС
8. Штампуння на калібрувальних кривошипних пресах	100 кг	Товщина стілки 2,5 мм	Середньої складності	На 25-30 % вища, ніж при штампунні на молотах	R _z 80-320	М, ВС, СС
9. Фасонне вальцювання на кувальних вальцях	50 кг	Товщина стілки 2,5 мм	Середньої складності	T4-T5 ГОСТ 7505-89	R _z 160-320	М, ВС, СС
10. Прокатуння штучних заготовок на поперечно- гвинтових та спеціальних станах	250 кг	0,1 кг та менше	Тіла обертання	0,5-2,5 мм	Теж	М, ВС, СС
11. Холодна висадка на автоматах	Діаметр 30 мм	Діаметр 1 мм	Теж	8-11 квалітет	R _a 1,2-2,5	М, ВС, СС
12. Волочіння прутків спеціального профілю для наступного виготовлення штучних заготовок	Діаметр 25 мм	Діаметр 1 мм та менший	Фасонний профіль	0,05-0,1 мм	R _a 1,2-2,5	М, ВС, СС

М – масове, ВС – великосерійне, СС – середньосерійне, МС – малосерійне,
О – одиничне

Таблиця 1.6

**Порівняльна собівартість виготовлення деталей різними способами
при різній серійності виробництва**

Група склад-ності деталей	Маса, кг	Механічна обробка			Лиття за моделями, які виплавляють			Гаряче об'ємне штампування		
		Кількість деталей в партії, шт.								
		250	5000	зв.5000	250	5000	зв.5000	250	5000	зв.5000
Прості	51-100	27,8	16,5	14,1	30,5	13,0	11,0	28,9	12,1	6,7
		33,2	20,4	17,7	42,0	18,0	16,0	35,0	12,8	7,0
		74,0	48,8	43,2	84,0	39,6	36,5	67,0	17,7	9,6
Складні	101-200	245,1	105,7	82,1	69,0	31,6	23,3	197,4	31,8	14,0
		281,5	122,4	95,7	91,0	40,3	31,4	211,9	34,1	15,0
		564,3	251,1	197,9	180,0	82,3	64,5	324,3	50,6	22,2
Особливо складні	501-1000	291,2	116,9	89,4	95,3	37,7	25,5	308,3	50,7	30,0
		335,8	136,2	104,7	126,0	49,0	37,2	328,6	53,7	31,9
		641,4	276,6	217,4	264,0	94,2	77,7	478,8	74,8	42,9

Контрольні питання для самоперевірки

1. Методи виготовлення заготовок.
2. Основні вимоги, які пред'являють до заготовок.
3. Фактори, що впливають на спосіб виготовлення заготовок.
4. Способи виготовлення литих заготовок і їх коротка характеристика.
5. Способи виготовлення заготовок методом пластичної деформації і їх коротка характеристика.

2. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК

2.1. Матеріали, які застосовуються для виготовлення литих заготовок

Ливарні властивості сплавів

До металів та сплавів, які використовуються для виготовлення виливків [14-16,49,56,58,75,103-105,111,114], пред'являють такі вимоги:

їх склад повинен забезпечувати отримання виливків з заданими фізико-механічними та хімічними властивостями;

ці властивості і структура повинні залишатися сталими протягом часу експлуатації виливків;

мати добрі ливарні властивості;

легко оброблюватися різальним лезовим та абразивним або іншим інструментом і добре зварюватися;

забезпечувати технологічність в умовах масового виробництва;

ливарні сплави повинні бути дешевими, а відходи при виготовленні виливків - мінімальними.

Найважливішими технологічними ливарними властивостями є наступні: рідкотекучість, усадка, прихильність сплавів до ліквації, до утворення гарячих тріщин, до поглинання газів, пористості. Ці властивості залежать, крім іншого, від хімічного складу та швидкості охолодження при заливанні у форму і твердінні.

Рідкотекучість - це здатність металів та сплавів у розплавленому стані заповнювати порожнину форми і точно відтворювати обриси виливка. Вона залежить від фізичних властивостей розплаву (в'язкості і поверхневого натягу), від вмісту домішок, схильності до окислення і від тепловідвідної здатності ливарної форми.

Рідкотекучість підвищується із збільшення вмісту в чавуні Si, P і, особливо, C, досягаючи максимуму у чавунах евтектичного складу, який визначається сумою $C \% + 1/3 Si \% + 1/2 P \% = 4.3 \%$.

Фосфор P підвищує рідкотекучість і для художніх виливків його вміст сягає 1,5 %. Сірка S і марганець Mn окремо мало впливають на рідкотекучість, але разом вони утворюють сульфід марганцю MnS, який сильно знижує рідкотекучість.

Нульова рідкотекучість, тобто сплав перестає текти, спостерігається у чавунів при вмісті 30 % твердої фази, а у сталей – 20 % у рідкому розплаві.

В'язкість сталі, розкисленої шлаком, менша від в'язкості сталі, розкисленої такими розкислювачами як феросиліцій або алюміній.

Усадка - це властивість металів та сплавів зменшувати об'єм при твердненні та охолодженні. Розрізняють лінійну $\mathcal{E}_L$ та об'ємну $\mathcal{E}_V$ усадки, які виражаються у відносних значеннях, у відсотках.

Для технологів важлива ливарна усадка - це різниця між лінійними розмірами моделі $l_{\text{мод}}$ та виливка $l_{\text{вил}}$:

$$\varepsilon_{\text{лив}} = [(l_{\text{мод}} - l_{\text{вил}}) / l_{\text{вил}}] \cdot 100\%,$$

$$\varepsilon_L = [(l_{\text{фор}} - l_{\text{вил}}) / l_{\text{вил}}] \cdot 100\%,$$

$$\varepsilon_V = [(V_{\text{фор}} - V_{\text{вил}}) / V_{\text{вил}}] \cdot 100\%.$$

Вона залежить не тільки від властивостей та стану металу, а також від конструкції виливка, форми тощо. Рідкотекучість сплавів визначають за допомогою технологічних проб (рис. 2.1.).

Ливарна усадка чавуну протікає в декілька етапів (рис 2.2.): передусадочне розширення $\varepsilon_{\text{роз}}$ внаслідок виділення графіту, доперлітна усадка $\varepsilon_{\text{дп}}$, післяперлітна усадка $\varepsilon_{\text{пп}}$. Крім того, розрізняють повну $\varepsilon_{\text{п}}$ та дійсну $\varepsilon_{\text{д}}$ усадку.

Значення ливарної усадки чавунів наведені в табл. 2.1.

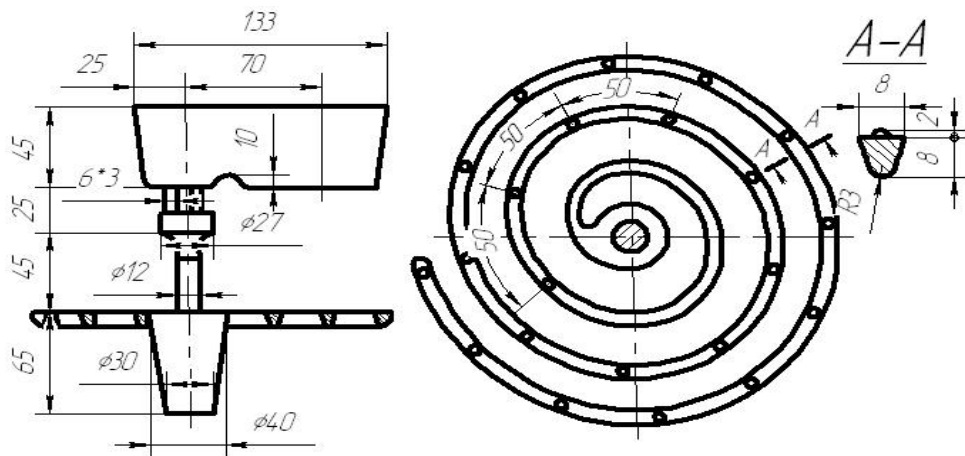


Рис. 2.1. Технологічна проба для визначення рідкотекучості чавуну

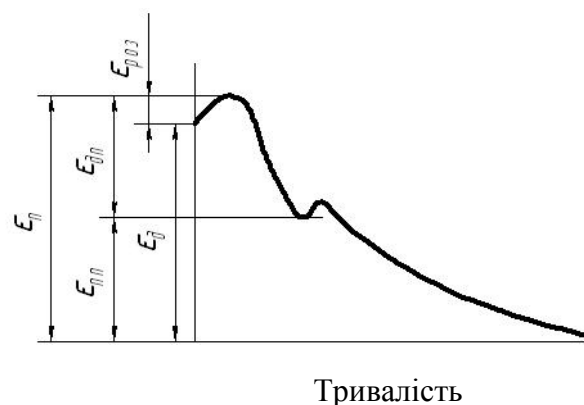


Рис. 2.2. Крива лінійної усадки чавуну

Таблиця 2.1

Лінійна усадка чавунів на різних етапах охолодження, %

Чавун	$\varepsilon_{роз}$	$\varepsilon_{дп}$	$\varepsilon_{пп}$	$\varepsilon_{д}$	$\varepsilon_{п}$
Білий	0,1	0,6-1,0	0,9-1,05	1,5-2,2	1,5-2,1
Сірий	0,1-0,25	0,2-0,35	0,9-1,05	0,9-1,3	1,1-1,4
Високоміцний	0,2-0,3	0,6-0,85	0,9-1,05	1,2-1,7	1,5-1,0

Повна об'ємна усадка $\varepsilon_{Vнов}$ складається з усадки сплаву в рідкому стані ε_{Vpid} , усадки при твердненні ε_{Vme} (тобто при зниженні температури від лінії ліквідуса до солідуса на діаграмі) і усадки при подальшому охолодженні в твердому стані ε_{Vox}

$$\varepsilon_{Vнов} = \varepsilon_{Vpid} + \varepsilon_{Vme} + \varepsilon_{Vox}.$$

Усадка приводить до виникнення багатьох дефектів.

Усадочні раковини - це порожнини, які виникають внаслідок усадки сплавів при твердненні виливка. Об'єм усадочної раковини складає від початкового об'єму сплаву у виливків з сталі - 3...10 %, з сірого чавуну - 1,5...2,5 %. Тому для сталевих виливків передбачають додатки, а для чавунних - дуже рідко.

Усадочна пористість - це скупчення дрібних порожнин неправильної форми, які утворились у виливку внаслідок об'ємної усадки при відсутності доступу рідкого металу. Усадочна пористість характерна для сплавів з широким інтервалом кристалізації.

Ліквация - це процес розвитку неоднорідності хімічного складу сплаву в різних частинах виливка або зливка. Вона виникає в процесі тверднення виливка і викликана різною розчинністю окремих компонентів сплаву в його твердій та рідкій фазах. У залізобуглецевих сплавах помітно ліквує сірка S, фосфор P і вуглець C. Ліквация викликає неоднорідність механічних властивостей в різних частинах виливка.

Розрізняють ліквацию дендритну та зональну. Дендритна - це розвиток хімічної неоднорідності всередині окремих дендритів сплаву (дендрит - складне деревоподібне кристалічне утворення типу скелетних кристалів, які розгалужуються). Дендритну ліквацию виправляють відпалюванням виливків. Зональна ліквация - це процес розвитку хімічної неоднорідності в різних частинах виливка. Її термообробкою не видаляють, а вирівнюють товщину стінок виливка.

Класифікація ливарних сплавів

Стандарт передбачає наступну загальну класифікацію металів та сплавів.

За кількістю компонентів розрізняють прості метали та металеві

сплави (подвійні або двокомпонентні, потрійні і таке інше).

За вмістом легуючих елементів розрізняють сплави:

низьколеговані (містять < 2,5 % легуючих компонентів);

середньолеговані (містять від 2,5 до 10 % легуючих компонентів);

високолеговані (містять > 10 % легуючих компонентів).

За ступенем чистоти розрізняють метали і сплави:

пониженої чистоти, що містять від 95 до 99 % основних компонентів;

середньої чистоти, тобто технічно чистий метал або сплав (від 99 до 99,9 %);

підвищеної чистоти (від 99,9 до 99,99 %);

високої чистоти (від 99,99 до 99,999 %);

особливої чистоти (від 99,999 до 99,9999 %).

Ступінь чистоти - сумарний вміст основного і усіх легуючих елементів за масою.

Ливарні сплави, на відміну від інших сплавів, отримують методом повторного переплаву і вони завжди вміщують домішки.

Окрему групу сплавів, застосовуваних у ливарному виробництві, складають феросплави, лігатури та модифікатори.

Феросплави - це переробні сплави, які вміщують понад 10 % заліза і не менше 10 % легуючого або розкислюючого компонента.

Лігатурою називають переробні сплави з кольорових металів, що використовуються при виготовленні кольорових сплавів.

Модифікатори - це метали і сплави (іноді неметали), котрі в дуже малих кількостях вводять у сплав для зміни його структури, або для одержання певних властивостей у рідкому або твердому стані.

Найчастіше при виготовленні виливків застосовують чавуни, сталі та кольорові сплави на основі Al, Cu, Mg, Zn [16-18,24,25,28,30].

Чавуни для виготовлення виливків. Загальні відомості

Чавун - це багатокомпонентний сплав заліза з вуглецем (вміщує понад 2,14 % C) та інших елементів (Si, Mn, S, P).

У залежності від форми вуглецю у сплаві розрізняють білий, сірий, високоміцний та ковкий чавуни.

Білий - це чавун, в якому весь вуглець знаходиться в хімічно зв'язаному стані у вигляді цементиту Fe_3C (НВ 800-820). Він має високу твердість, крихкість і не піддається обробці різцем. Його рідко застосовують для деталей, що працюють на знос (щопки каменедробарок, мелючі кулі тощо). Робоча частина таких деталей має структуру вибіленого чавуну, а центральна – сірого. Такі виливки називають вибіленими або загартованими.

Білий чавун з низьким вмістом C та Si також застосовують для вироб-

ництва ковкого чавуну. Спочатку отримують виливки з білого чавуну, а після їх піддають термічній обробці - відпалу на ковкий чавун.

У машинобудуванні широко застосовують сірі, високоміцні і ковкі чавуни, у яких весь або частина вуглецю знаходиться у вигляді графіту. Наявність у них графіту забезпечує необхідну твердість, міцність, добру оброблюваність різанням. Однак включення графіту знижують міцність та пластичність, тому що порушують суцільність металічної основи сплаву.

Сірі чавуни вміщують вуглець у вигляді графіту, який має форму пластин (рис. 2.3, а), що має надрізаючу дію на металеву основу, понижує пластичні властивості чавуну і його міцність при розтягуванні.

Високоміцні чавуни також вміщують вуглець у вигляді графіту, який має форму куль (рис. 2.3, б), що сприяє підвищенню міцності і пластичності чавуну. Його отримують при металургійній обробці чавуну - модифікації.

У машинобудуванні також застосовують леговані чавуни, які включають Cr, Ni, Al, V та інші елементи, що підвищує їх зносостійкість, корозійну стійкість, жаростійкість тощо.

Однак найширше застосовують сірі чавуни, котрі досить міцні, зносостійкі, дешеві, добре оброблюються різанням.

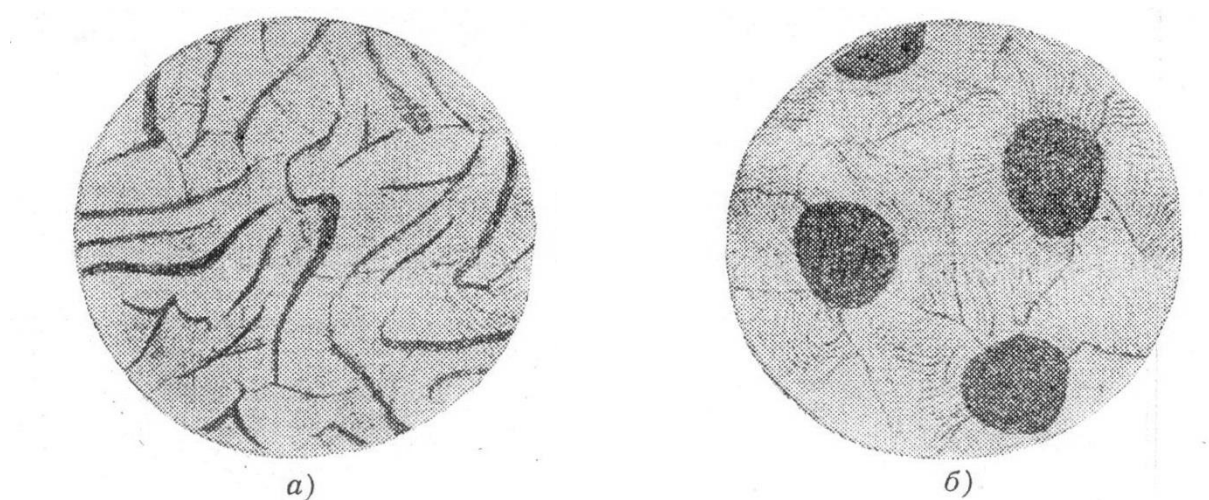


Рис. 2.3. Перлітні сірі чавуни:

а – з пластинчастим графітом (х300); б – з кулястим графітом (х400)

Вплив хімічного складу на структуру та властивості чавунів

За вмістом вуглецю чавуни ділять на доєвтектичні ($C < 4,3 \%$), евтектичні і заєвтектичні. Найширше в машинобудуванні застосовуються доєвтектичні чавуни [3,4,17,22,75,104,105,111].

Механічні властивості чавунів, зносостійкість, оброблюваність різанням суттєво залежать від хімічного складу та структури, яка залежить не тільки від хімічного складу, але і від швидкості охолодження.

Зі зменшенням швидкості охолодження кількість графіту збільшується, а зі збільшенням - більша кількість вуглецю знаходиться в чавуні у зв'язаному стані у вигляді цементиту Fe_3C . Графітізації вуглецю в основному сприяє C, Si, а також Cu та Ni. Затруднює графітізацію, тобто вибілює чавун, Mn, Cr, S. Великий вплив на структуру та механічні властивості має хімічний склад чавуну.

Кремній - Si зменшує розчинність C у рідкому та твердому розчині, сприяє графітізації. Тому зі збільшенням вмісту Si механічні властивості високовуглецевих чавунів знижуються внаслідок утворення крупних включень графіту. Кожен відсоток кремнію понижує вміст вуглецю в евтектиці на $\sim 0,3\%$. Звичайно вміст кремнію в чавуні складає $1,0 - 2,5\%$.

Марганець - Mn розчиняється у фериті і з'єднується з вуглецем, утворюючи карбіди, а з сіркою - сульфід марганцю MnS . Mn у чавуні нейтралізує шкідливий вплив сірки, є корисним елементом. Звичайно вміст Mn $\sim 0,5 - 0,8\%$.

Сірка - S присутня у вигляді сульфідів, багатих залізом, або у вигляді евтектики. Вона гальмує графітізацію в низькомарганцевих чавунах, понижує їх механічні властивості внаслідок утворення на границях зерен крихкої евтектики. Нейтралізація цього впливу сірки і максимальний рівень графітізації для чавуну досягається при відношенні $\text{Mn} / \text{S} = 4 - 5$. При цьому сірка в основному знаходиться у вигляді сульфідів марганцю MnS , які не впливають на графітізацію. Але сульфідні з'єднання збільшують в'язкість чавуну, погіршують рідкотекучість та механічні властивості. При вмісті сірки $0,12 - 0,14\%$ різко знижується рідкотекучість і збільшується кількість цементиту і перліту в структурі чавуну, з'являється вибіл у тонких перерізах виливків. Граничний вміст сірки в СЧ $10 < 0,15\%$, а в СЧ $45 < 0,02\%$.

Фосфор - P зменшує розчинність вуглецю в чавуні і температуру евтектичного перетворення. При вмісті $\text{P} < 0,3\%$ він повністю розчиняється у чавуні, а понад $0,3\%$ - утворює фосфідну евтектику у вигляді окремих включень, яка плавиться при температурі 950°C . Якщо $\text{P} > 0,6 - 0,7\%$, то фосфідна евтектика виділяється у вигляді суцільної сітки, розміщеної на границях кристалів. Тому у чавуні для відповідальних виливків $\text{P} < 0,20\%$, а для виливків що працюють на стирання без ударів, коли потрібні високі антифрикційні властивості, $\text{P} < 0,7\%$. Фосфор підвищує рідкотекучість, тому його вміст у чавунах для художніх виливків збільшується до 1% і більше. На графітізацію фосфор впливає незначно.

Хром - Cr при евтектичному перетворенні є карбідоутворюючим елементом. Він збільшує міцність чавуну при підвищених температурах, тому його вводять в жаростійкі та окалиностійкі чавуни. Хром підвищує твердість, опір зносові, корозії у морській воді та слабких кислотах, але

збільшує крихкість. Якщо $Cr > 0,8 \%$, то міцність чавуну знижується внаслідок утворення вільних карбідів хрому.

Нікель - Ni є графітуючим елементом, стабілізує перліт. При вмісті $Ni > 2 \%$ структура чавуну стає спочатку повністю перлітною, після сорбітною, при вмісті $Ni \sim 4,5 - 5 \%$ утворюється мартенсит. Нікель підвищує корозійну стійкість.

Мідь - Cu при вмісті до 4% легко розчиняється у рідкому чавуні, сприяє графітації, зменшує твердість чавуну, збільшує опір чавуну корозії. Оптимальний вміст міді в легованому чавуні $3 - 4 \%$.

Титан - Ti понижує температуру евтектичного перетворення і сприяє переохолодженню чавуну. Звичайно в чавун входить $0,05 - 0,1 \%$ Ti . Титан сприяє підвищенню механічних властивостей, особливо міцності високовуглецевих чавунів. Його використовують як модифікатор при виробництві ковкого чавуну, але для виливків з високоміцного чавуну титан небажана домішка, тому що перешкоджає утворенню кулястого графіту.

Молибден - Mo понижує температуру початку і кінця кристалізації аустеніту. Утворює тверді розчини з цементитом. Молибден підвищує міцність і твердість доевтектичних чавунів, опір зносові і ударну в'язкість. Він поліпшує жароміцність чавуну краще від інших елементів. Його вміст у чавуні $0,3 - 0,6 \%$.

Класифікація сірих чавунів

За складом основної металічної маси виливки з сірого чавуна можуть бути чотирьох типів [3,4,111].

1. Перлітно - цементитний чавун ($\Pi + \text{Ц} + \Gamma$) складається з перліту, включень структурно - вільного цементиту і пластинчастого графіту. Таку структуру можна отримати при пониженому вмісті кремнію та швидкому охолодженні виливків у формі. Такі чавуни мають підвищену міцність і погано оброблюються лезовим інструментом. При модифікації магнієм або церієм можна отримати високоміцний чавун з перлітно - цементитною структурою і кулястим графітом.

2. Перлітний сірий чавун ($\Pi + \Gamma$) складається з перліту і пластинчастого графіту, а після модифікації магнієм або церієм - з перліту і кулястого графіту (рис. 2.3, б). Перлітний чавун звичайно містить дрібнопластинчастий графіт і має помірну твердість $HB\ 200...300$, високу міцність та зносостійкість і добре оброблюється різанням. Перлітний чавун з кулястим графітом ще міцніший, тому називається високоміцним.

3. Перлітно - феритний сірий чавун ($\Pi + \Phi + \Gamma$) складається з перліту, фериту та пластинчастого графіту (рис. 2.4). Його міцність нижча від перлітного, тому що пластинки графіту в ньому більші. Твердість його

нижча і він легше оброблюється різанням. Структура П + Ф + Г з пластинчастим графітом найчастіше зустрічається у звичайних чавунних виливків у машинобудуванні.

4. Феритний сірий чавун (Ф + Г) складається з фериту та пластинчастого графіту (рис 2.5). Отримують його при високому вмісті кремнію та вуглецю у товстостінних виливках і повільному їх охолодженні у формі. Включення графіту дуже крупні. Феритний чавун має низькі механічні властивості, дуже м'який, крихкий, швидко зношується. Тому для машинобудування такий чавун не придатний.

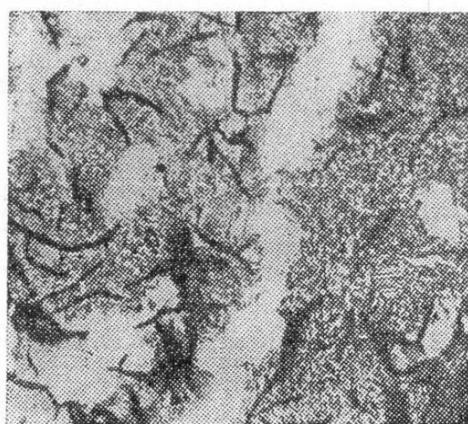


Рис. 2.4. Перлітно-феритний сірий чавун

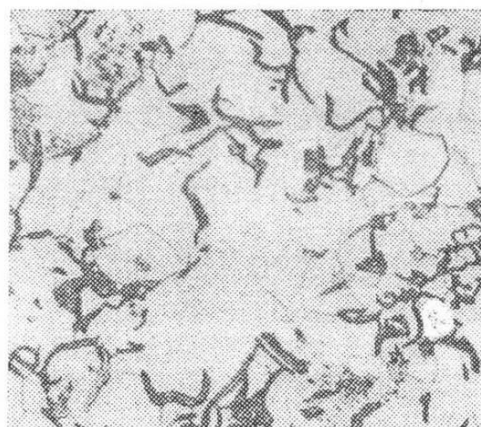


Рис. 2.5. Феритний сірий чавун

Таблиця 2.2

Механічні властивості виливків з сірого чавуну з пластинчастим графітом

Марка	Границя міцності при розтягуванні, МПа, не менше	Твердість НВ
СЧ 10	98	143-229
СЧ 15	147	163-229
СЧ 18	176	170-229
СЧ 20	196	170-241
СЧ 25	245	180-250
СЧ 30	294	181-255
СЧ 35	343	197-269
СЧ 40	392	207-285
СЧ 45	441	229-289

Таблиця 2.3

Масова доля компонентів сірого чавуну для виливків, %

Марка	C	Si	Mn	P	S
				не більше	
СЧ 10	3,5-3,7	2,2-2,6	0,5-0,8	0,3	0,15
СЧ 15	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15
СЧ 18	3,4-3,6	1,9-2,3	0,5-0,7	0,2	0,15
СЧ 20	3,3-3,5	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ 25	3,2-3,4	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ 30	3,0-3,2	1,0-1,3	0,7-1,0	0,2	0,12
СЧ 35	2,9-3,0	1,0-1,1	0,7-1,1	0,2	0,12
СЧ 40	2,5-2,7	2,5-2,9	0,2-0,4	0,02	0,02
СЧ 45	2,2-2,4	2,5-2,9	0,2-0,4	0,02	0,02

Примітка. Допускається низьке легування чавуну різними елементами (хромом, нікелем, міддю, фосфором та інш.)

У ГОСТ 1412-85 наведені марки, границі міцності при розтягуванні, твердість HB та хімічний склад сірих чавунів (табл. 2.2, 2.3).

Для СЧ 10...СЧ 45 $\delta_s = 100...450 \text{ МПа}$, HB 140 – 190.

Чавуни СЧ 25–СЧ 45 називають високоякісними. Вони мають перлітну структуру (П + Г) з дрібними пластинками графіту. Це досягається модифікуванням.

Модифікування сірого чавуну

Воно виконується графітизуючими модифікаторами для подрібнення графіту, усунення вибілу і міждендритного графіту, тобто для отримання чавунів підвищених марок з високими фізико-механічними властивостями [3,4,17,111].

Модифікування сірого чавуну доцільне при низькому вмісті вуглецю, кремнію та інших графітизуючих елементів, або при підвищеній концентрації елементів, які гальмують графітизацію, при швидкому охолодженні виливків, тривалій видержці чавуну.

Звичайно як модифікатор використовують феросиліцій ФС 75, силікокальцій СК 30, чорний графіт та інші. При модифікуванні СЧ 25,..., СЧ 45 модифікатор ФС 75 за масою складає, відповідно, від 0,3 до 1,5 %.

Чим вища марка чавуну, тим вищим повинен бути рівень перегріву (до 1370, ... ,1430° С). Після модифікування введенням модифікатора і його перемішування видержка не повинна перевищувати 10 хвилин, у протилежному разі ефекту не буде і потрібне повторне модифікування.

Сірі чавуни модифікують магнієм, який також витрачається на виведення сірки і дегазацію. Залишкова кількість магнію не повинна перевищувати 0,04 – 0,1 %.

Високоміцні чавуни з кулястим графітом

Це чавуни (ВЧКГ) модифіковані магнієм у кількості 0,15 – 0,45 % з наступною обробкою феросиліцієм ФС 75. При цьому змінюються умови росту зародка графіту, що впливає на його форму: він стає кулястим (рис. 2.4, б), що сприяє підвищенню міцності і, особливо, пластичності чавуну.

ВЧКГ у порівнянні з вуглецевою сталлю має такі переваги: більш низьку температуру плавлення, кращу рідкотекучість, меншу схильність до утворення гарячих тріщин, вищу міцність та зносостійкість і ліпшу оброблюваність різанням.

У порівнянні з сірим чавуном ВЧКГ більш міцний, пластичніший, жаростійкіший і краще зварюється.

Лінійна усадка ВЧКГ складає 1 %, але ливарні напруги у виливків з нього більші, ніж у виливків з сірого чавуну, тому що модуль пружності ВЧКГ значно вищий, а теплопровідність нижча. Модифікування магнієм підвищує зносостійкість і корозійну стійкість. Можна модифікувати церієм, але він дорогий. При введенні магнію чавун сильно охолоджується, тому його перегрівають до 1400 – 1450° С.

ГОСТ 7293-79 обмежує механічні властивості високоміцного чавуну. Марки ВЧКГ позначаються від ВЧ 38-17 до ВЧ 120-2, де перша цифра-тимчасовий опір розриву в кГс/мм², а друга цифра відповідає відносно видовженню в %. ВЧКГ застосовується для відповідальних деталей: колінчастих валів, шатунів, прокатних валів тощо.

Застосовують також низьколеговані конструкційні чавуни, зносостійкі чавуни, немагнітні чавуни, корозійностійкі чавуни, жароміцні та жаростійкі чавуни.

Сталі для виготовлення виливків

Сталь має високу міцність і пластичність, витримує значні напруги при ударних та змінних навантаженнях, добре зварюється [3,4,24,25,111].

Сталеві виливки класифікують за хімічним складом, структурою, призначенням, способом виплавлення сталі.

- За хімічним складом виливки поділяються на чотири класи:
- з вуглецевої нелегованої сталі (ГОСТ 977-88 від 15Л до 50Л);
- з низьколегованої сталі (менше 2,5 % легуючих елементів);
- з середньолегованої сталі (2,5-10 %);
- з високолегованої сталі (понад 10 %).

Усі позначення марок сталей для литва мають в кінці літеру Л.

За структурою вуглецеві і леговані сталі класифікують окремо.

Звичайно виливки з вуглецевої сталі мають феритну або перлітну структуру, але в низьковуглецевих сталях на гранях зерен утворюється третинний цементит, а в заєвтектоїдних – вторинний цементит.

Структура високолегованих сталей залежить від вмісту легуючих елементів, вуглецю та режимів термічної обробки і розділяється на 6 класів: мартенситні, мартенситно-феритні, феритні, аустенітно-мартенситні, аустенітно-феритні, аустенітні.

За призначенням або службовими властивостями виливки можна розділити на дві великі групи:

виливки з нелегованих, низько- та середньолегованих сталей (конструкційних), котрі оцінюються за механічними властивостями;

виливки з високолегованих сталей з спеціальними фізичними і фізико-хімічними властивостями (жароміцні, зносостійкі, корозійностійкі, з спеціальними магнітними та електричними властивостями та інші), які оцінюються за спеціальними властивостями.

За способом виплавлення сталі розділяють на мартенівські (основні та кислі), які застосовуються для великих виливків (мають добрі властивості, невисоку вартість, можуть бути одночасно виплавлені у великих кількостях) та електросталі (основні та кислі), які виплавляють в електродугових печах, а високолеговані – в індукційних печах.

Вуглецеві ливарні сталі

Вони включають С, Мп, Si, Р та S (ГОСТ 977-88) [3,4,111]. Механічні властивості в основному визначає вуглець, а сірка та фосфор - шкідливі домішки. Сірка погіршує рідкотекучість, сприяє утворенню гарячих тріщин. Фосфор знижує ударну в'язкість сталі і тим більше, чим більший вміст вуглецю. Тому сумарний вміст сірки і фосфору не перевищує 0,1%. За вмістом фосфору і сірки ГОСТ 977-88 ділить виливки на три групи:

- 1- загального призначення ($S = 0,05 - 0,06 \%$, $P = 0,05 - 0,08 \%$);
- 2- відповідального призначення ($S = 0,045 - 0,06 \%$, $P = 0,04-0,07 \%$);
- 3- особливо відповідального призначення ($S = 0,045 - 0,052 \%$, $P = 0,04- 0,05 \%$). Вміст інших елементів однаковий у виливках усіх груп.

Зі збільшенням вуглецю підвищується міцність, твердість та границя текучості, але знижується відносне видовження та ударна в'язкість.

Марганець знижує шкідливий вплив сірки, утворюючи MnS.

Низьковуглецеві сталі 15Л, 20Л мають погані ливарні властивості, понижену рідкотекучість, підвищену схильність до утворення гарячих тріщин. Після відпалу та нормалізації їх $\delta_g = 394 - 410 \text{ МПа}$, $\delta = 24 - 23 \%$.

Середньовуглецеві сталі 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л мають більш високі ливарні властивості, кращу рідкотекучість, меншу схильність до утворення гарячих тріщин. Їх $\delta_g' = 410 - 540 \text{ МПа}$, а $\delta = 23 - 12 \%$. Їх застосовують для

виготовлення дрібних, середніх і великих заготовок.

Високовуглецеві сталі 50Л, 55Л мають добрі ливарні властивості, високу рідкотекучість, не схильні до утворення гарячих тріщин. Однак вони мають низьку теплопровідність і збільшується небезпека виникнення у виливків напруг. З цих сталей виготовляють зубчасті колеса, барабани підіймально-транспортних машин тощо.

З легованих конструкційних сталей для виливків можна виділити такі: марганцевисті ливарні сталі, хромисті ливарні сталі, хромонікелеві та кремністі ливарні сталі.

Крім чавунів та сталей для виготовлення виливків широко застосовують алюмінієві, мідні, магнієві та цинкові сплави.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Матеріали, які застосовують при виробництві виливків.
2. Ливарні властивості сплавів.
3. Класифікація ливарних металів та сплавів.
4. Чавуни для виготовлення виливків. Загальні відомості.
5. Вплив хімічного складу на структуру і властивості чавунів.
6. Класифікація сірих чавунів.
7. Модифікація сірого чавуну.
8. Високоміцні чавуни з кулястим графітом.
9. Сталі для виливків. Загальні відомості і класифікація.
10. Вуглецеві сталі для виготовлення виливків.

2.2. Послідовність виготовлення виливка

Загальні відомості про ливарні форми Ручне формування.

Виливок отримують в результаті заповнення порожнини ливарної форми розплавленим металом (розплавом), охолодження його у формі і тверднення [3,4,111].

Послідовність технологічного процесу (ТП) виготовлення виливка розглянемо на прикладі отримання чавунної втулки 1 (рис. 2.6).

За кресленням втулки виготовляють з дерева, металу або пластмаси модель 3.

Ливарна модель (ГОСТ 17819-84) - це пристрій для утворення в ливарній формі відбитка, який відповідає конфігурації та розмірам виливка. При твердненні і охолодженні розплав зменшується в об'ємі, тобто спостерігається його усадка. У місцях, де виливок буде оброблюватися різанням, необхідно передбачити припуск на обробку, тобто шар металу, що видаляється при обробці. Отже, для одержання виливка з зада-

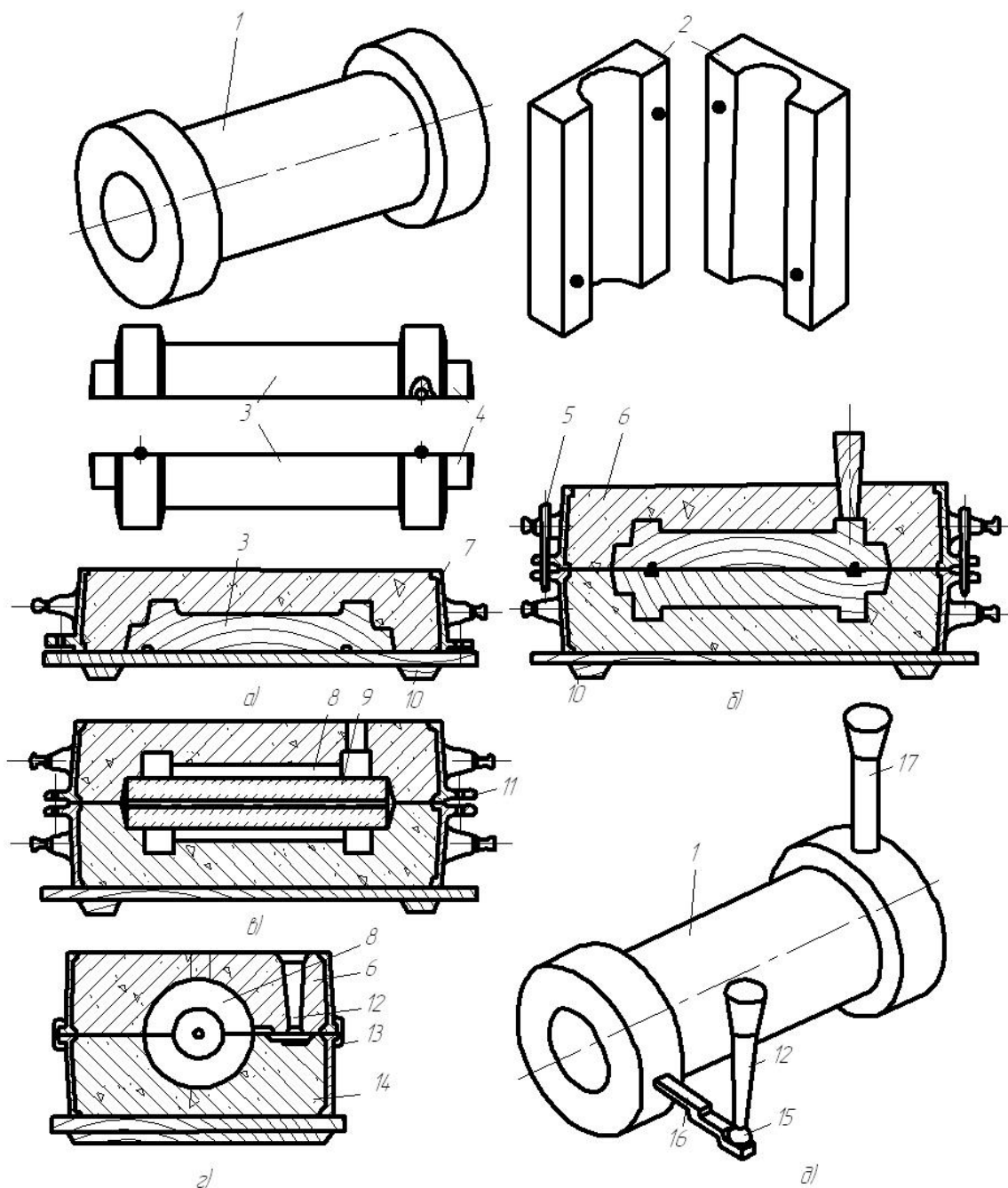


Рис. 2.6. Послідовність виготовлення чавунного виливка втулки

ними розмірами потрібна модель більших розмірів ніж деталь на величину усадки і припусків на обробку.

Модель втулки складається з двох половин, які взаємно центруються за допомогою шипів та гнізд. Отвір втулки 1 оформлюється стержнем 9.

Стержень – це частина ливарної форми, що найчастіше застосовується для утворення у виливку отворів, порожнин, зовнішніх поверхонь з піднутренням тощо. Його виготовляють з стержньової суміші, яка ущільнюється в стержньовому ящику 2. Після витягування з ящика

стержень сушать для надання йому міцності. При складанні ливарні форми (ЛФ) сухий стержень установлюють стержньовими знаками (найчастіше у вигляді спеціальних виступів або опорних поверхонь) у відповідні гнізда форми, отриманих за допомогою знаків 4 моделі 3. Тобто довжина стержня більша від довжини порожнини виливка на величину знаків.

ЛФ для втулки складають з верхньої 6 та нижньої 14 напівформ, які виготовляють з формувальної суміші ущільнюваної в металевих рамках, котрі називаються опоками.

Виготовлення ливарної форми втулки при ручному формуванні

Воно виконується в такій послідовності (рис.2.6). На плиту 10 установлюють половину моделі 3, з якої необхідно отримати відбиток у нижній напівформі, а також опоку 7. Поверхню моделі 3 та плити 10 посипають сухим роздільним піском або обприскують роздільною рідиною (гасом), після чого в опоку засипають облицювальну та наповнюючу (або єдину) формову суміш і ущільнюють її. Надлишок формової суміші (ФС) зчищають, щоб вона не виступала за край опоки, перевертають напівформу на 180° і установлюють на плиту 10. Після на нижню половину моделі установлюють верхню половину моделі, на нижню опоку – верхню за допомогою центруючих штирів (рис.2.6, б). Знову посипають поверхню моделі роздільним піском, установлюють моделі ливників, засипають ФС у верхню опоку і ущільнюють її.

Знімають верхню напівформу, витягають половини моделі, установлюють стержень (рис.2.6, в) і складають форму. Для точного складання форми опоки мають спеціальні втулки 11, в які входять центруючі штирі. При заповненні форми розплав тисне на її стінки, в результаті чого верхня напівформа разом з опокою може піднятися, і тоді в площині рознімання утвориться зазор, через який розплав може витікати з форми. Для попередження цього верхню напівформу кріплять до нижньої скобами 13, а інколи на верхню опоку установлюють вантаж (рис.2.6, г).

При заливанні розплав поступає в порожнину форми по спеціальних каналах. Систему каналів, яка підводить розплав у форму, називають ливниковою. Вона складається з стояка 12 (вертикального каналу), шлаковловлювача 15 і живильника (ливника) 16, через який розплав надходить у форму. До ливникової системи також відноситься випор 17 (рис.2.6, д), що служить для виходу з форми повітря і газів та для контролю рівня заповнення форми.

Після тверднення і охолодження металу форму руйнують, виливок визволяють від формової суміші, вибивають стержень, відрізають ливники, а поверхню виливка очищують від пригорілої ФС.

Описану вище ЛФ називають разовою, тому що вона використо-

ується одноразово. Разові ЛФ виготовляють з формових сумішей, основною складовою яких є кварцевий пісок. Як зв'язуючу речовину, що надає міцності суміші, використовують глину. Міцність таких сумішей відносно невисока, тому піщано-глинисті форми роблять товстостінними. Однак, якщо як зв'язуючі використовують матеріали, що надають високу міцність формовій суміші, то разову форму можна виконати оболонковою (тонкостінною). Це дозволяє скоротити розхід формової суміші і, завдяки її особливим властивостям, підвищити точність і знизити шорсткість поверхонь виливків.

У разових товстостінних формах отримують виливки від декількох грамів до десятків тонн, складних за конфігурацією, з різних сплавів, в ОВ, СВ і МВ. Це пояснюється відносною простотою ТП, низькою вартістю використовуваних матеріалів, достатньою точністю виливків, доброю поверхнею, можливістю механізації і автоматизації процесу їх виготовлення.

У МСВ застосовують також напівпостійні ЛФ, які виготовляють з високовогнетривких матеріалів, наприклад з графіту. У них отримують до декількох десятків виливків без суттєвого зносу форми. Для ОВ – вони дорогі, а для МВ – низька стійкість.

Для виготовлення виливків широко застосовують металеві форми - кокілі, які часто називають постійними. У них можна отримати від декількох десятків сталевих, до десятків тисяч виливків з кольорових металів і сплавів. Виливки можуть бути складної конфігурації і масою до декількох тонн. Найчастіше в кокілях виготовляють виливки масою до декількох десятків кг з кольорових сплавів та чавуну. Вони мають високу точність розмірів і чисту поверхню. Не застосовуються формові суміші, поліпшуються умови праці, легше механізувати і автоматизувати виробництво. Але кокілі дорогі, тому їх застосовують у ВСВ та МВ.

Технологічний процес виготовлення виливків і структура ливарного виробництва (ЛВ)

Технологічний процес виготовлення виливків у разових формах складається з різних процесів, які виконуються в спеціальних цехах або відділах ливарного цеху (рис. 2.7).

Виготовлення виливків починають з підготовки модельного комплексу: ливарної моделі, стержньових ящиків, модельних плит, шаблонів для перевірки розмірів форми і стержнів, правильності установлення стержнів у формі. Модельний комплект виготовляють у модельному цеху або відділах ливарного цеху.

Не менш важливою ланкою ТП є підготовка формових матеріалів

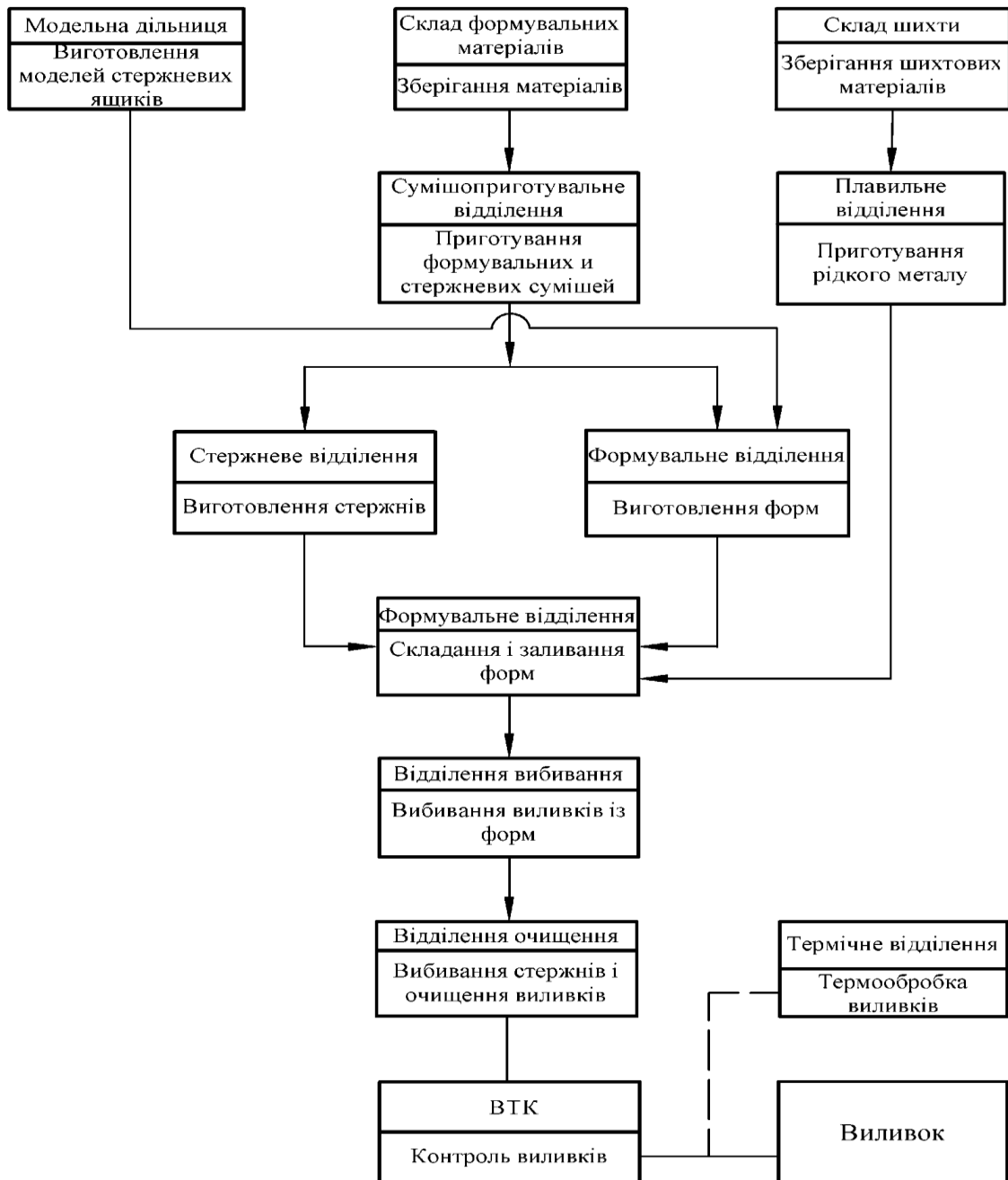


Рис. 2.7. Схема технологічного процесу виготовлення виливків у піщаних формах

(ФМ), які застосовуються для виготовлення разових і напівпостійних форм (піски, зв'язуючі та спеціальні добавки).

Вихідні ФМ зберігаються на складі формових матеріалів у коробах та бункерах. Їх якість перевіряють в лабораторіях. ФМ поступають у відділення для приготування суміші, де у змішувачах приготують формові та стержньові суміші, контролюють якість і транспортують у формувальні та стержньові відділи ливарного цеху.

Процес виготовлення ЛФ називають формуванням. Застосовують ручне, машинне та автоматизоване формування. Ручне – в ОВ та МСВ, машинне – в ССВ та ВСВ, автоматизоване – в ВСВ та МВ.

Стержні виготовляють у стержньових ящиках або за допомогою шаблонів. Готові стержні сушать у спеціальних печах (сушилах) для підвищення їх міцності, газопроникності, зменшення газотвірної здатності. Перед установленням у ЛФ стержні покривають протипригарними покриттями, які складаються з вогнетривких матеріалів: графіту, пиловидного кварцу та ін., щоб запобігти пригоранню ФС до поверхні виливка.

З цією ж метою перед складанням сирі форми припилюють графітом, тальком, деревним вугіллям або фарбують, а при формуванні „по-сухому” – фарбують протипригарними покриттями і сушать. Якщо виливок має порожнину, то у форму перед складанням установлюють стержень. Після форми складають, закріплюють напівформи скобами або болтами і подають на заливання [4,15,16,19-21,75,111].

Як вихідні матеріали для отримання рідкого чавуну і сталі використовують чушкові ливарні (для чавунних виливків) і переробні (для сталевих виливків) чавуни, чавунний та сталевий лом, брикетову стружку, феросплави, паливо та флюси. Ці шихтові матеріали зберігаються на складі шихти. Приготовану шихту дроблять, спеціальними транспортними засобами подають у плавильний відділ для приготування рідкого чавуну – плавлення металу. Для плавлення чавуну застосовують шахтні печі-вагранки, електропечі та полуменові печі; для плавлення сталі – електропечі, мартенівські печі; для кольорових сплавів – електропечі та полуменові печі.

Розплав повинен бути перегрітий в печі до певної температури, щоб він добре заповнював ЛФ. Після розплавлення, доведення за хімічним складом і перегріву, розплав з печі зливають у розливні ковші і транспортують на дільницю заливання форм. Розплав, залитий у форму, охолоджується і твердіє. Після охолодження виливків форми руйнують (вибивають з опок) і виливки витягують з них.

Вибивання форм виконують тільки після охолодження виливків до певної температури, тому що при високих температурах сплави не досить міцні і виливок може зламатися. Форми вибивають на спеціальних установках на дільниці вибивання форм.

Виливки мають ливники, випори, додатки, іноді рубчики і заливи металу, на поверхні може бути пригар. У відділі очищення та обрубкування виливків спеціальними інструментами відрізають або обрубують ливники, випори, рубчики; на дробоструменних та дробометальних установках, у гідравлічних, піскогідравлічних і очисних барабанах очищують поверхні виливків.

Після чого у ВТК перевіряють розміри виливків, їх герметичність, наявність зовнішніх і внутрішніх дефектів (усадочних та газових раковин, тріщин тощо), механічні властивості і структуру металу. Дефекти виливків виправляють газовим та електродуговим зварюванням, просочуванням смолами, нанесенням замазки тощо. Для отримання необхідної структури і механічних властивостей, зниження внутрішніх напруг виливки часто піддають термічній обробці в термічному відділі.

Виливки, які прийняті ВТК ливарного цеху, іноді фарбують і відправляють на склад або на обробку різанням.

При обробці різанням виливкам надається остаточна геометрична форма, необхідна точність і шорсткість поверхонь, передбачених кресленням і ТУ на готову деталь. Обробка різанням найбільш трудомістка і складає 40-60 % усіх затрат на виготовлення машини. Тобто необхідно отримувати виливки з мінімальними припусками на обробку різанням, або такі точні та чисті, щоб взагалі виключити обробку різанням.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Загальні відомості про ливарні форми.
2. Послідовність виготовлення виливка при ручному формуванні.
3. Технологічний процес виготовлення виливків і структура ливарного виробництва.

2.3. Основи проектування та виготовлення ливарної оснастки

Загальні положення та поняття

Для виготовлення виливків застосовують велику кількість різних пристроїв, які називають ливарною оснасткою. ГОСТ 17819-84 „Оснастка технологическая литейного производства. Термины и определения” передбачає 80 найменувань одиниць ливарної оснастки, найважливішою з яких є модельний комплект (МК), необхідний для утворення при формуванні робочої порожнини ливарної форми. Він включає ливарну модель, стержньові ящики, моделі ливникової системи, шаблони для формування і контролю та ін. [3,4,19-21,111].

Існує також поняття „формувальний комплект”, тобто повний комплект оснастки для отримання разової форми. Крім модельного комплексу він включає опоки, наповнювальні рамки, штирі, скоби, вантажі та ін.

Модельний комплект повинен забезпечувати отримання виливків заданої форми та розмірів; мати високу міцність та довговічність (з урахуванням типу виробництва); бути технологічним і дешевим у виготовленні, легким і зручним в експлуатації; зберігати точність та

міцність протягом усього періоду експлуатації.

У ОВ та МСВ найчастіше використовують дерев'яні МК; в ССВ, ВСВ та МВ – металеві; в СВ часто застосовують моделі з пластмас, гіпсу цементу.

Проектування та виготовлення дерев'яних моделей

Дерев'яні МК виготовляють з сосни, берези, вільхи, дуба, ялини, липи, клена, фанери. Їх класифікують: за родом сплаву, для якого вони призначені, за конструкцією, способом формування, складністю, міцністю і точністю виготовлення [111].

За конструкцією та розмірами модель відрізняється від отриманого по ній вилівка і готової деталі. У залежності від конструкції і способу виготовлення форми модель може бути суцільною і рознімною або складатися з декількох частин.

Для отримання у формі відбитків знакових частин стержнів, котрими стержень кріпиться у формі, модель має знаки, які виступають за межі вилівка. Розміри і конструкція знаків на моделі відповідають знаковим частинам стержня.

Щоб при витягуванні моделі форма не руйнувалась, вертикальні стінки моделі виконують з уклонами, які розділяють на конструктивні та формувальні. Конструктивні – це уклони, що передбачені при конструюванні деталі і які полегшують витягування моделі з форми і стержня з стержньового ящика. При цьому розміри і форма вилівка відповідають указаним на кресленні деталі. Формувальні – це уклони, які призначаються технологом-ливарником на робочих кресленнях деталей у випадку відсутності конструктивних уклонів. Вони змінюють креслення вилівка і для дерев'яних моделей їх приймають в межах 1–3°. Формувальні уклони призначають за ГОСТ 3212-92 [19].

Щоб полегшити витягування моделі із форми, попередити появу тріщин та усадочних раковин, спряження стінок у виливків повинно бути плавним, кути не повинні бути гострими. Для цього внутрішні кути мають галтелі, а зовнішні-закруглення. Радіус галтелі приймають від 1/5 до 1/3 від середньоарифметичної товщини стінок, що утворюють кут моделі. Їх вирізають, наклеюють, виготовляють з замазки тощо.

Щоб виливок відповідав кресленню, модель повинна бути більшою від нього на величину усадки, яка залежить від хімічного складу сплаву, конструкції виливків і форми, умов плавлення металу та ін. Лінійна усадка металу виражається у відсотках і коливається в значних межах для різних сплавів: чавуну – 0,8-1,2 %; вуглецевої сталі – 1,5-2 %; мідних – 1,0-1,5 %; алюмінієвих – 1,5-2 %. Щоб не перераховувати розмірів дерев'яних моделей, при їх виготовленні користуються спеціальними усадочними

метрами, які довші від звичайних на величину усадки. Але для точних металевих моделей, що виготовляються на металорізальних верстатах, розміри перераховують.

На оброблених поверхнях вилівка передбачають припуски на обробку, тобто шар металу, що підлягає видаленню. Його величину можна розрахувати або визначити за ГОСТ 26645-85. Припуск залежить від якості обробленої поверхні, матеріалу вилівки, його розмірів, типу виробництва, способу формування, положення оброблюваної поверхні при формуванні та заливці. Припуск при ручному формуванні завжди більший, ніж при машинному. Найбільший припуск передбачають на поверхні виливків, що розміщені у верхній частині форми. Вони засмічені неметалевими включеннями, частинками шлаку, газовими бульбашками та ін.

Дерев'яні моделі та стержньові ящики в ОВ та МСВ виконують за робочим кресленням деталі, на якому технолог – ливарник у відповідності з ГОСТ 3.1125-88 позначає уклони, місця і припуски на обробку різанням, контури стержньових знаків моделі, установлює їх розміри, форму і номери стержнів у порядку складання форми (Ст.1, Ст.2, ...). Поверхня рознімання форми на кресленні позначається $X \dots \updownarrow_{H}^B X$ МФ з показанням стрілками положення форми при заливанні В (верх), Н (низ) і положення площини рознімання форми і моделі (МФ). Тобто креслення деталі перетворюється в креслення елементів ливарної форми (рис. 2.8).

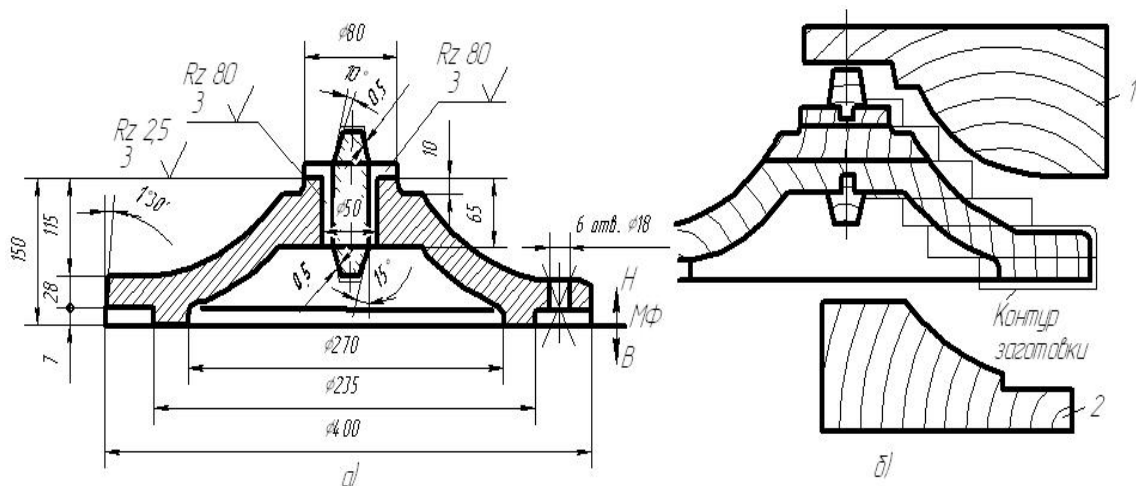


Рис. 2.8. Креслення елементів ливарної форми, виконаних на кресленні деталі (а) і моделі на щиті (б): 1 та 2 – контрольні шаблони

Виходячи з технологічних вказівок (рис. 2.8, а) технолога – ливарника, сам столяр – модельник за допомогою усадочного метра викреслює модель (рис. 2.8, б) на дерев'яному щиті, зклеєному з дошок. Для дерев'яних моделей, звичайно, спеціальне креслення не розробляють. Далі повністю виготовлення моделі виконує висококваліфікований модельник,

консультуючись з технологом.

Великий вплив на точність вилівка має точна фіксація половин різних моделей одна відносно іншої за допомогою дерев'яних шипів або металевих дюбелів. Для витягування моделей з напівформ передбачають підйоми у вигляді петель або різьбові підйоми (для дрібних моделей).

Стержньові ящики за конструкцією, у залежності від складності стержня, а також класів міцності та точності модельного комплексу, розділяються на рознімні та витрушувані (рис. 2.9, 2.10). Дерев'яні стержньові ящики виготовляють за такою ж технологією, як і моделі.

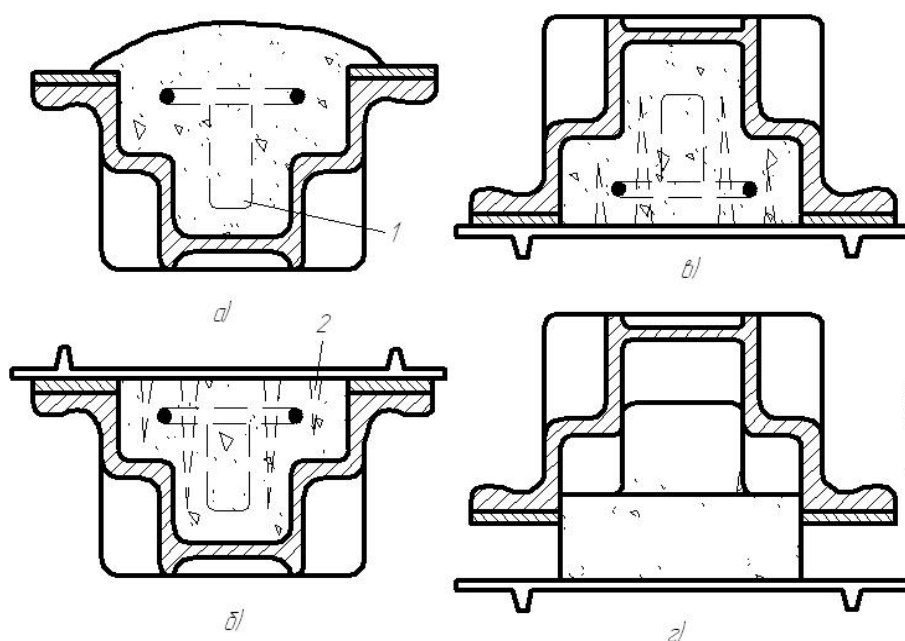


Рис. 2.9. Схема виготовлення стержня за нерознімним витрушуваним ящиком

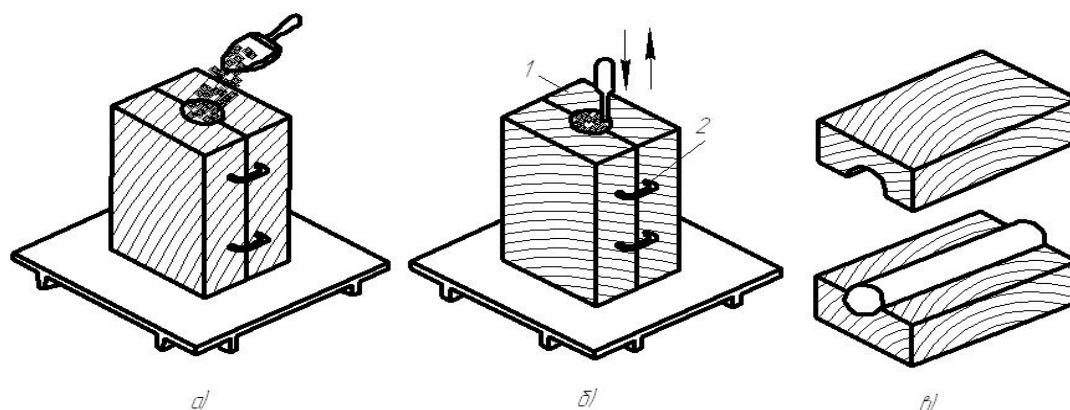


Рис. 2.10. Схема виготовлення стержня за рознімним дерев'яним ящиком

Звичайно дерев'яні моделі і стержньові ящики ґрунтують, шпаклюють, фарбують і маркують. Поверхні, які не оброблюються різанням, фарбують: для виливків з чавуну – червоним, із сталі – сірим, з кольорових металів – жовтим кольором. На поверхні, які механічно оброблюються, наносять чорні круглі плями на червоному, сірому та жовтому тлі. Знаки фарбують у чорний колір. Спряження моделей з від'ємними частинами окантовують чорною смугою.

Проектування та виготовлення металевих модельних комплектів

Металеві моделі і стержньові ящики застосовують у ССВ, ВСВ і МВ. Вони, у порівнянні з дерев'яними, довговічніші, точніші, мають гладку поверхню, не деформуються при зберіганні. Їх застосовують при машинному та автоматизованому формуванні і їх конструкція зв'язана з конструкцією формувальних та стержньових машин [111].

Основними елементами металевих МК є модельні плити і стержньові ящики, а допоміжними – сушильні плити, кондуктори для зачищення і складання стержнів тощо.

Металеві модельні плити виготовляють складними (модель прикручується) і суцільними. Звичайно на плитах разом з моделями виливків закріплюють моделі елементів ливникової системи – живильників, шлакоуловлювачів і т.п., що усуває ручні операції при формуванні.

При проектуванні металевих моделей (ММ), вихідним документом є креслення вилівка, виконане за ГОСТ 3.1125-88, за яким розробляють спеціальні креслення елементів МК: модельних плит, моделей, стержньових ящиків тощо. При цьому перераховують їх розміри, тому що їх виготовляють на металорізальних верстатах (МРВ), а не користуються усадочним метром, як при виготовленні дерев'яних моделей. Широко використовуються стандарти та нормалі [23].

Металеві МК виготовляють з алюмінієвих сплавів АЛ3В, АЛ7В, АЛ9В, дрібніші – з чавуну СЧ 15, СЧ 20, СЧ 25 та сталі (вони важчі та кородують).

Металеві моделі і МК виконують тонкостінними з ребрами жорсткості (табл.2.4). У залежності від розмірів моделі товщина стінок складає 8-18 мм, товщина ребер жорсткості – 0,7-0,8 від товщини стінок, а товщина бортів 1,25-1,3 від товщини стінок. Ребра і стінки моделей і стержньових ящиків повинні мати формувальні уклони 1° - $1^{\circ}30'$. Шорсткість поверхонь моделей для точних виливків Ra 1,25...2,5 мкм.

За рахунок застосування металевих моделей і машинного формування, точність одержуваних виливків зростає на 1-2 квалітета. Завдяки більш високій точності і чистоті поверхні, пропуски на механічну обробку можуть бути знижені на 10%.

Таблиця 2.4

Номінальна товщина (мм) стінок металевих моделей та стержньових ящиків

Габаритні розміри вилівка, мм	Алімінієві сплави		Чавун	
	Моделі	Ящики	Моделі	Ящики
До 250	8	8	6	6
250-400	9	10	7	8
400-630	10	12	8	10
630-1000	12	15	10	12
1000-1600	15	-	-	-
1600-2000	18	-	-	-

Знакові частини металевих МК виконують за ГОСТ 3606-80. Від'ємні частини виконують на „ластівчиному хвості”. Моделі елементів ливникової системи звичайно виконують суцільними і кріплять до модельної плити гвинтами з потайними головками, їх запаюють або замазують і зачищають.

Металеві модельні плити за призначенням ділять на плити для опочного формування і плити для виготовлення оболонкових напівформ. Найчастіше застосовують односторонні плити, тобто коли модель кріпиться з одного боку. Вони повинні мати підвищену жорсткість, щоб витримувати великі навантаження при пресуванні та ущільненні суміші.

Опочні плити для точної фіксації опок на модельній плиті мають центруючі штирі.

Металеві стержньові ящики застосовують в ССВ і МВ. Їх основні типи показані на рис. 2.11. У нерознімних витрушуваних ящиках (рис. 2.11, а) виготовляють стержні з однією плоскою поверхнею. У витрушуваних ящиках з вкладишем виготовляють складніші стержні (рис. 2.11, б). Ящики з вертикальним роз'ємом (рис. 2.11, в) після ущільнення суміші накривають сушильною плитою 1, перевертають на 180°, розсовують стінки ящика, витягають стержень. Для отримання у верхній частині заглибин застосовують ящики з вертикальним роз'ємом і від'ємним дном 3 (рис. 2.11, г). Ящики з горизонтальним роз'ємом бувають відкриті (рис. 2.11, д) та закриті (рис. 2.11, е). Товщина стінок, ребер жорсткості та бортів у стержньових ящиків така ж, як і в металевих моделях. Половини ящиків фіксують за допомогою втулок, штирів і скріплюють замками (баранчиковим або шарнірною скобою).

Стержньові ящики для піскодувних машин мають загартовану та шліфовану площину рознімання, змінну сталеву загартовану втулку в отворі для вдування, вентиляційні отвори для виходу повітря, які закриваються спеціальними сітчастими пробками-вентами. У МВ та ВСВ

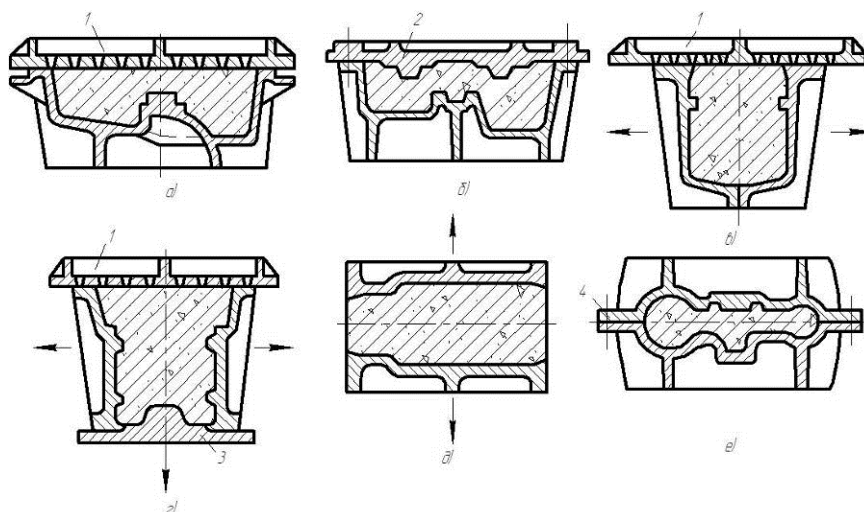


Рис. 2.11. Основні типи конструкцій металевих стержньових ящиків для машинного формування

застосовують гарячі стержньові ящики, в яких суміш твердіє при температурі $200 - 250^{\circ}\text{C}$. Вони періодично нагріваються і охолоджуються, повинні бути міцними, мало розширюватися і жолобитися при нагріванні, мати високу теплопровідність. Кращий матеріал – чавун.

Пластмасові моделі

Пластмасові моделі (ПМ) мають високу корозійну стійкість, меншу масу ніж металеві, більшу міцність ніж дерев'яні. До них менше прилипає формова суміш. Вони особливо доцільні в СВ для виготовлення моделей-дублерів, тобто коли за однією промоделлю можна виготовити багато моделей-дублерів [3,4,111].

Для виготовлення ПМ застосовують пластмаси на основі епоксидних смол, фенолформальдегідних та поліефірних смол, поліетилену, поліхлорвінілу тощо. Найширше застосовують пластмаси холодного тверднення на основі епоксидних смол марок ЕД-5 та ЕД-6 і акрилатів марок ТШ та АСТ-Т.

Пластмасові моделі розміром від 100 до 1200 мм мають товщину стінок, відповідно, від 5 до 20 мм з ребрами жорсткості і радіуси галтелей 3 – 5 мм.

При визначенні розмірів промоделі пластмасової моделі враховують усадку металу вилівка та усадку пластмаси при твердненні. Пластмаси ТШ та АСТ-Т мають об'ємну усадку 0,4-0,6 %, а епоксидні – не мають усадки.

Шорсткість поверхонь моделей повинна відповідати Ra 1,25...2,5 мкм, а точність - 11 – 13 квалітету.

Промоделі для виготовлення ПМ можуть бути з дерева, гіпсу,

пластмаси, металу тощо. Їх перед заливанням пластмаси покривають роздільною речовиною (солідолом або машинним маслом). Максимальна кількість напівформ, яку можна виготовити за однією моделлю з епоксидної смоли при ручному формуванні, сягає 4000.

Газифіковані моделі

Технологічний процес виготовлення виливків за газифікованими моделями (ГМ) заключається в тому, що разова модель, виготовлена з спеціальної пористої пластмаси, найчастіше з пінополістиролу, який має малу об'ємну масу ($20\text{--}24 \text{ кг/м}^3$) не витягується з форми перед заливанням розплаву, а під дією теплоти металу плавиться, випаровується, газифікується, звільняючи металові порожнину форми. При цьому порожнини, піднутрення і т. п. виконуються без стержнів, тому що модель не потрібно витягувати з формової суміші і форма нерознімна. Не потрібні формувальні уклони.

Для виготовлення газифікованих моделей найчастіше застосовують спеціальний полістирол ПСБ-Л. Він легкий ($\gamma = 20 \text{ кг/м}^3$), пористий, має температуру плавлення 164°C , випаровування – 316°C . Має підвищену міцність, швидкість випаровування та газифікації.

ПСБ-Л добре оброблюється на деревообробних верстатах та МРВ, ріжеться ніхромовим дротом діаметром 0,5 мм, нагрітим до $200\text{--}300^\circ \text{C}$. Його поставляють у вигляді плит розміром від $800 \times 900 \times 100$ до $1000 \times 2000 \times 200$ мм. Добре склеюється клеєм ГИПК-61. З полістиролу виготовляють разові моделі в ОВ та МСВ для виливків з чавуну, сталі, кольорових металів та сплавів.

При двостадійному виготовленні моделей з пінополістиролу, тобто коли моделі отримують в металевій промоделі, ГМ можна застосовувати в ССВ.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Ливарна оснастка. Загальні відомості та положення.
2. Проектування дерев'яних моделей.
3. Металеві модельні комплекти.
4. Пластмасові моделі.
5. Газифіковані моделі.

2.4. Формові матеріали і суміші

Загальні відомості

Для виготовлення ливарних форм і стержнів застосовують формові матеріали (ФМ), які умовно розділяють на вихідні формові матеріали,

формові (ФС) і стержньові (СС) суміші, допоміжні формові сполуки [111].

Вихідні ФМ розділяють на дві групи:

основні – вогнетривка основа суміші (кварцевий пісок і т. п.), зв'язуючі (глина, смоли, інші зв'язуючі речовини);

допоміжні – наприклад, різні добавки (вугілля, деревна мука і т. п.), що надають формовій або стержньовій суміші певних властивостей.

Формові і стержньові суміші приготують з вихідних ФМ і відпрацьованих сумішей. Вони повинні мати певні технологічні властивості, найважливішими з яких є наступні.

Пластичність – це здатність суміші деформуватися під дією прикладених зовнішніх сил або власної маси, що забезпечує отримання чіткого відбитка моделі. Суміші з масляним зв'язуючим мають кращу пластичність ніж піщано-глинисті.

Міцність – це здатність чинити опір руйнуванню під дією навантаження. Міцність залежить від розмірів зерен піску, вмісту глини та інших зв'язуючих речовин. У залежності від стану суміші при випробуванні розрізняють міцність суміші у вологому стані (по-сирому) або у висушеному стані (по-сухому). Міцність ФС і СС після заливання розплаву у форму називають вторинною міцністю.

Поверхнева міцність – це опір поверхневого шару форми або стержня стиранню. Вона характеризується обсипальністю.

Сипучість та грудкуватість суміші, щоб суміш не зависала в бункері, рівномірно заповнювала опоку.

Вогнетривкість – це здатність суміші чинити опір розм'якшенню або розплавленню під дією температури розплаву. Чим крупніший пісок і менше в ньому домішок, тим вогнетривкість вища.

Газотворність – це здатність суміші виділяти пари і гази при заливанні. Визначається кількістю парів і газів, що виділяються з одного кг суміші (згоряють органічні матеріали ФС - зв'язуючі, тирса).

Газопроникність – це здатність суміші пропускати через себе гази. Вона залежить від якості та кількості глинистих складових і кварцевого піску, форми зерна, вологості, щільності суміші, пилу, вугілля тощо. При недостатній газопроникності гази проникають в розплав і створюють газові раковини.

Податливість – це здатність скорочуватись в об'ємі і переміщуватися під дією усадки виливка, щоб у виливку не з'явилися усадочні тріщини.

Суміш повинна бути однорідною, довговічною, малогігроскопічною (щоб не вбирати вологу з повітря. Наприклад, стержні, що виготовляють на сульфідній барді, мають високу гігроскопічність і їх не можна довго витримувати перед заливанням металу), добре вибиватися з опоки і виливка.

Формові піски

З формових пісків найчастіше застосовують кварцеві піски на основі кремнезему SiO_2 ($\gamma = 2,5\text{-}2,8 \text{ г/см}^3$, $t_{\text{пл}} = 1713^\circ \text{C}$). Зерна піску розміром до 22 мкм незалежно від хімічного складу відносять до глинистої складової, а зерна розміром понад 22 мкм – до пісочної основи. Вміст глинистої складової визначають омучуванням, тобто відділенням глини від піску (збовтуванням суміші у воді і її осаджуванням, поки не буде чиста вода, тобто багаторазовим розчиненням і зливанням).

У залежності від вмісту глинистої складової формові піски розділяють на кварцеві (не більше 2 % глинистих складових і 90-97 % SiO_2) і глинисті (до 30-50 % глинистої складової). Піски з вмістом понад 50 % глинистої складової називають глинами. Класифікація і склад формових пісків наведені в табл. 2.5.

За зернистістю піски ділять на такі (табл. 2.6): грубий, дуже крупний, крупний, середній, дрібний, дуже дрібний, тонкий і пиловидний за номерами сит від 1 до 0,05 (усього 11 сит).

Для формування по-сирому невеликих і середніх чавунних виливків застосовують напівжирні піски і кварцеві піски. Для формування по-сирому і по-сухому виливків з сталі застосовують кварцеві піски, для кольорових сплавів – напівжирні, для стержнів – кварцеві піски.

До матеріалів, що замінюють кварцевий пісок, відносяться хроміт, хромомагнетит, циркон, олівеніт, дуніт, шамот (тобто обпалена вогнетривка глина з вогнетривкістю $1670 - 1750^\circ \text{C}$). Для сухих форм крупних сталевих виливків).

Таблиця 2.5

Класифікація і склад формувальних пісків, %

Пісок	Клас	Глиниста складова	SiO_2 , не менше	Шкідливі домішки	
				Оксиди лужноземельних і лужних металів, не більше	Оксиди заліза, не більше
Збагачений кварцевий	Об 1К	0,2	98,5	0,4	0,2
	Об 2К	0,5	98,0	0,75	0,4
	Об 3К	1,1	97,5	1,0	0,6
Кварцевий	1К	2,0	97,0	1,2	0,75
	2К		96,0	1,5	1,0
	3К		94,0	2,0	1,5
	4К		90,0	-	-
Пісний	Т	2-10	-	-	-
Напівжирний	П	10-20	-	-	-
Жирний	Ж	20-30	-	-	-
Дуже жирний	ОЖ	30-50	-	-	-

Таблиця 2.6

Класифікація пісків за розміром зерен основної фракції

Пісок	Група	Номери сит суміжних розмірів, на яких залишаються зерна основної фракції
Грубий	063	1; 063; 04
Дуже крупний	04	063; 04; 0315
Крупний	0315	04; 0315; 02
Середній	02	0315; 02; 016
Дрібний	016	02; 016; 01
Дуже дрібний	01	016; 014; 0063
Тонкий	0063	01; 0063; 005
Пиловидний	005	0063; 005 Тазик

Формові глини

У залежності від мінералогічного складу формові глини розділяють на чотири види: М – монтморилонітові (бентонітові); К – каолінітові; Г – гідролюдисті; П – полімінеральні.

Основною складовою, що забезпечує вогнетривкість глини, є глинозем Al_2O_3 . ГОСТ 3226-93 рекомендує застосовувати формові глини в складах піщано-глинистих сумішей в залежності від способу формування і матеріалу виливка. Ливарні формові глини мають зв'язуючу здатність і термохімічну стійкість, що дозволяє використовувати їх як зв'язуючі для приготування міцних і таких, що не пригорають до виливків, формових сумішей.

Зв'язуючі

Зв'язуючі вводять у формові і стержньові суміші для зв'язування піщинок та надання міцності у вологому і сухому стані формовим і стержньовим сумішам.

Зв'язуючі повинні задовольняти наступні вимоги:

рівномірно розподілятися по поверхні формових пісків при приготуванні формових і стержньових сумішей;

забезпечувати достатню міцність у вологому і сухому стані;

надавати суміші пластичність для заповнення нею усіх порожнин стержньового ящика, заглибин у моделі;

не прилипати до моделі і стержньового ящика при виготовленні стержнів і форм;

сприяти швидкому висиханню стержня і форми і не вбирати вологу;

не виділяти багато газів при сушінні і заливанні розплаву у форму, забезпечувати податливість форми і стержня;

не знижувати вогнетривкість суміші і не збільшувати пригар на

виливках;

сприяти легкому видаленню стержня з вилівка;

бути нешкідливими (не роз'їдати руки і не виділяти шкідливих газів),
бути дешевими і недефіцитними.

У основі класифікації зв'язуючих закладені дві ознаки: природа матеріалу (органічні і неорганічні, водорозчинні і нерозчинні – неводні); характер тверднення (необоротне, проміжне, оборотне), (табл 2.7).

Водні і неводні зв'язуючі не змішують між собою, тому що при цьому знижується міцність (особливо, коли в якості водного зв'язуючого застосовувати глину).

Необоротно твердіючі зв'язуючі при твердненні піддаються складним хімічним перетворенням на основі полімеризації і поліконденсації.

Оборотно твердіючі – відновлюють свої властивості після охолодження (бітуми, пеки, каніфоль) або під дією розчинника (декстрин, пектиновий клей).

Таблиця 2.7

Класифікація зв'язуючих

Група матеріалу	Питома міцність, кПа/1 %	Клас А		Клас Б		Клас В	
		Характер тверднення	Зв'язуючі	Характер тверднення	Зв'язуючі	Характер тверднення	Зв'язуючі
I	490	Необоротний	А-1, П,оліфа, ПТ, КО, ПК-104, ПС,4ГУ(в)	Необоротний	Б-1, МФ 17, М, УКС, КФ-90, М 19-62, ОФ-1, БС-40	Необоротний	В-1, рідке скло
II	294-490	Проміжний	А-2, БК, 4ГУ(п), СЛК	Проміжний	Б-2, СБ, СП, КВС		В-2
III	294		А-3, БТК, каніфоль	Оборотний	декстрин, пектиновий клей, крохмаліт	Оборотний	В-3, цемент, глини формувальні
		Оборотний			Б-3,патока, сульфітно-спиртова барда		

Необоротно твердіючі зв'язуючі надають міцність сухим стержням понад 490 кПа на 1 % зв'язуючого; з проміжним характером твердіння – середню міцність, 294 – 490 кПа на 1%; оборотно твердіючі – найменшу міцність, до 294 кПа на 1 %. У зв'язку з цим зв'язуючі за питомою міцністю на розрив у сухому стані розділяють на три групи.

Органічні зв'язуючі виділені в два класи: А – неводні, Б – водні, а неорганічні зв'язуючі займають клас В і є водними.

Органічні хімічно твердіючі суміші (ХТС) включають органічно неводні (А-1 і А-2) і водні (Б-1) зв'язуючі, які надають суміші низьку міцність і добру текучість у вологому стані та високу міцність у сухому. Для підвищення міцності у вологому стані в них добавляють глину, декстрин та інші.

ХТС розділяють на дві групи: масла і синтетичні смоли.

До рослинних масел відносять лляне масло і оліфу (рослинне масло з добавлянням каталізатора для прискорення сушіння).

До зв'язуючих на основі масел з нафтопродуктів відносять петролатум, розчинений в уайт-спіриті у відношенні 1:1 (це зв'язуючі П, ПТ, ПС).

Зв'язуючі груп А-1, А-2 – оліфу, П, ПТ, 4ГУ – вводять у стержньові суміші в кількості 1,5-2 % і сушать при 200-220° С. Тобто тут необхідне тривале сушіння стержнів.

Тому на виробництві як зв'язуючі часто використовують термопластичні і терморезистивні синтетичні смоли (для оболонкових форм і стержнів). Вони не потребують сушіння.

Найширше застосовують пульвербакеліт (фенолформальдегідна смола і 7–8 % уротропіну – затвердника). Міцність суміші при вмісті зв'язуючого 4–6 % до 6–8 МПа. Застосовують також фуранові та карбомідні смоли.

Органічні зв'язуючі, що висихають, розчинні у воді і застосовуються разом з глиною. Глина надає міцності у вологому стані, а зв'язуючі – після сушіння стержня. Застосовують барду сульфітного щолоку (побічний продукт переробки деревини) для комбінованого зв'язуючого СБ і СП (їх додають в кількості 1,5–3 % і сушать при 160 – 180° С).

Декстрин – продукт обробки крохмалу слабкою кислотою. Його застосовують з іншими зв'язуючими і в якості клеїв.

Органічні твердіючі зв'язуючі (група А-3). У твердому стані вони крихкі (каніфоль), тому їх застосовують разом із глиною і сульфітною бардою.

Неорганічні зв'язуючі відносяться до класу В; найбільше розповсюджені формова глина, рідке скло, цемент, гіпс.

Рідке скло - водний розчин силікатів Na або K змінного складу $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Формові і стержньові суміші на рідкому склі набувають

міцності до 3 МПа при сушінні з температурою 220-260° С або хімічному сушінні вуглекислим газом CO₂ (прискореному).

Допоміжні формові матеріали

Це добавки, що вводять у ФС для поліпшення їх газопроникності, податливості, вибивання тощо, а також речовини, які вводять в проти-пригарні покриття, клеї, припили і т. п.

Противпригарні добавки – для зменшення пригорання ФС до виливків. Пригар – це міцне з'єднання ФС або СС з металом поверхні виливка. Він утруднює очищення і обробку виливків різанням. У залежності від хімічного складу і товщини стінки виливка, в якості противпригарних добавок використовують кам'яне і деревне вугілля, мазут, пиловидний кварц, графіт.

Захисні присадки вводять у ФС і СС при литті магнієвих сплавів, які інтенсивно окислюються при заливанні і зіткненні зі стінками форм і стержнів (борна кислота, сірка сублімована, фториста присадка).

Добавки, що змінюють теплоакумулюючу здатність форм і стержнів, вводять для створення направленої твердіння виливка або окремих його частин. Теплоакумулюючу здатність суміші зменшують введенням добавок, які збільшують пористість, знижують теплопровідність і зменшують щільність суміші (тирса, асбест). Ними також обкладають додатки, що живлять випори (щоб вони швидко не остигали).

Сушу тирсу вводять у ФС і СС для збільшення газопроникності і податливості.

Формові суміші

Склад ФС і СС різний і залежить від роду сплаву, маси, товщини стінки, конфігурації виливка, вимог, що пред'являються до нього, характеру виробництва.

Формові суміші за характером використання розділяють на єдині, облицювальні, наповнюючі; за станом форми перед заливанням – на суміші для форм, що заливаються в сирому стані і в сухому стані; в залежності від класу застосовуваної ФС – на природні і синтетичні.

Освіжуючі добавки – для відновлення відпрацьованої суміші (свіжий пісок, глина, зв'язуючі добавки). У природі зустрічаються піски, які після зволоження і перемішування можна застосовувати як ФС – це природні суміші (у них занижена газопроникність і вогнетривкість).

Синтетичні суміші – в які глину вводять у вигляді самостійної добавки (їх широко застосовують).

Формові суміші для виливків з чавуну і сталі. Чавунні і сталеві виливки виготовляють у сирих та сухих піщаних формах. Сирі форми

дешевші (малий цикл), але вони не міцні і в них отримують виливки масою до 3000 кг.

Сухі форми звичайно застосовують для середніх та великих виливків в ОВ і МСВ.

Для формування по-сирому форм для чавунних виливків застосовують суміші, що містять міцнозв'язуючі глини або монтморилоніт в якості зв'язуючого, а для формування „по-сухому” - середньозв'язуючі глини.

Формові суміші для автоматичного формування внаслідок швидкої оборотності повинні мати високу міцність, текучість, газопроникність. Це досягається: застосуванням високоякісних вихідних кварцевих пісків 1К, 2К, монтморилонітових високоміцних глин і спеціальних добавок; дотриманням режимів роботи обладнання для приготування сумішей і введенням освіжаючих добавок.

ФС для сталевих виливків вміщують 95 % піску 1К або 2К з SiO_2 і вогнетривкі глини першого сорту 1-ої групи, тому що температура заливання сталі вища від температури заливання чавуну.

Формові суміші для прискореного виготовлення форм з поверхневим підсушуванням застосовують в ОВ і СВ для середніх і крупних форм. Вони включають органічні СБ або СП (при підсушуванні гарячими газами) або неорганічні – рідке скло (при підсушуванні пропусканням CO_2) зв'язуючі.

Пластичні самотвердіючі суміші (ПСС) на основі рідкого скла (5,5 %) і перед формуванням додають 2-5 % ферохромового шлаку – затвердника. Через 30 хв форму можна фарбувати, а через 4-6 годин – заливати металом (без підсушки). Застосовують у СВ.

Рідкі самотвердіючі суміші (РСС) для ОВ і МСВ не потребують ущільнення. Їх ще називають „наливними”, тому що вони мають високу рідкотекучість. Через 20-30 хв після заливання суміші модель або стержень можна витягувати. Заливання через 4 – 6 г.

Холоднотвердіючі суміші (ХТС) на основі синтетичних смол. Застосовують в ОВ і СВ. Тут збагачені кварцеві піски (без глини). Зв'язуючими можуть бути карбамідофуранові, фенолформальдегідні та інші смоли (група Б1). Каталізатор тверднення – ортофосфорна кислота. Живучість суміші 10-15 хв. Це, звичайно, облицювальна суміш, тобто для крупних і середніх форм, і не потребує сушіння. Однак ХТС мають низьку термічну стійкість, тому форми фарбують протипригарними сполуками. ХТС токсичні і потребують доброї вентиляції.

Формові суміші для заливання кольорових сплавів. Температура заливання мідних сплавів не вища 1150°C , а алюмінієвих і магнієвих в межах $750-800^\circ\text{C}$, тому вогнетривкість сумішей може бути нижчою. ФС для магнієвих сплавів повинна мати протиокислюючі присадки (звичайно 5–8 % фтористої присадки або 4–5 % борної кислоти).

Стержньові суміші

Стержньові суміші (СС) для чавунних і сталевих виливків.

Стержні в процесі заливання оточені розплавом, зазнають високих теплових і механічних навантажень, тому СС повинні в сухому стані бути міцними, з твердою поверхністю, мати велику вогнетривкість, податливість, малу гігроскопічність (особливо при формуванні по-сирому), високу газопроникність, малу газотвірну здатність і добре вибиватися.

За геометричними розмірами, конфігурацією, умовах роботи в ливарній формі і вимогами до якості литої поверхні стержні поділяють на 5 класів (1-найскладніші, ..., 5-великі прості стержні). Вимоги, що пред'являються до стержнів, забезпечуються відповідним підбором суміші і технології виготовлення стержнів, що залежить від типу виробництва (ОВ, СВ, МВ).

Стержньові суміші, що потребують теплової обробки для зміцнення стержня, бувають піщано-масляні, піщано-глинисті і піщано-смоляні (з швидкотвердіючими синтетичними смолами).

Піщано-масляні і піщаноглинисті СС мають задовільні технологічні властивості, дешеві, можуть бути використані при ручному і машинному формуванні. Проте вони потребують сушіння, тому їх застосовують в ОВ і МСВ.

Піщано-смоляні СС приготують зі зв'язуючими – синтетичними смолами, що входять у групу Б-1 (КФ-90, КФ-35, ОФ-1 та інші), у групу Б-3 (сульфітно-спиртова барда), а також у групу А-1 (пульвербакеліт ПК-104). Ці зв'язуючі твердіють при 230-250° С за час від 2-3 хвилин до 30-50 секунд. СС твердіють безпосередньо в металевому стержньовому ящику, що підігрівається газом або електрикою („гарячі ящики”). Твердіння суміші проходить за рахунок поліконденсації смол груп А-1, Б-1, Б-3. При цьому стержень набуває високої міцності до 9,8 МПа і газопроникності. Їх застосовують для виготовлення стержнів 1–5 класів масою до 200 кг. Вони дорогі через високу вартість зв'язуючих. Їх використовують у МВ і ВСВ, що дозволяє автоматизувати процес їх виготовлення.

Поряд з указаними, для виготовлення порожнистих оболонкових стержнів застосовують суміші зі зв'язуючим ПК-104- пульвербакелітом. Такі стержні точні і міцні.

Суміші, що не потребують теплової обробки. Вони найбільш перспективні, тому що виключається нагрівання, спрощується техпроцес і оснастка, стержні можуть бути виготовлені навіть у дерев'яних ящиках.

ХТС на синтетичних смолах включають зв'язуючі групи Б-1 (карбамідні, карбамідно-фуранові, фенолофуранові, фенол-формальдегідні смоли) і каталізатор (ортофосфорна кислота, бензосульфоокислоти – БСК,

азотна кислота), що прискорює процес тверднення зв'язуючого. Ці суміші мають високу текучість і міцність після твердіння – 15-20 МПа, добру газопроникність, податливість, добре вибиваються. Їх живучість – 1,5-15 хв і залежить від каталізатора. ХТС мають меншу міцність ніж ті, що тверднуть у гарячій оснастці, тому їх застосовують для стержнів 3-5 класів. Тривалість їх тверднення до максимальної міцності – декілька годин, що є суттєвим недоліком. Їх застосовують в СВ для виготовлення середніх і великих виливків. Якщо відношення каталізатора і зв'язуючого взяти 1:1 і продути стержень протягом 15-30 с гарячим повітрям, то до кінця продувки стержень має міцність 3-4 МПа, що можна використовувати в МВ і ВСВ та автоматичних машинах.

ХТС на силікатних зв'язуючих – це СС з рідким склом, які висушують продуванням CO_2 , а також їх можна зміцнювати тепловим сушінням.

Для виготовлення стержнів у СВ також застосовують ЖСС.

Противпригарні покриття, пасти

Вони охороняють поверхню виливка від пригару, збільшують поверхневу міцність, знижують шорсткість. Для зменшення пригару застосовують фарби, що містять вогнетривкі матеріали і зв'язуючі речовини.

Противпригарні покриття складаються з вогнетривкої основи (для чавунних виливків до 90 % графіту, для сталевих до 96 % пиловидного кварцу або циркону), зв'язуючого, розчинника і добавок.

Водні покриття застосовують для форм і стержнів, що підлягають сушінню. Покриття, які самі висихають, - для фарбування форм і стержнів з самотвердіючих сумішей.

Застосовують також пасти, замазки, клеї.

В якості розділювального покриття (від прилипання суміші до моделі) застосовують гас з сріблястим графітом, або суміш з 10 % олеїнової кислоти і 90 % гасу, або підігрівання моделі до 40° С.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Формові матеріали і суміші. Загальні відомості.
2. Формові піски.
3. Формові глини, зв'язуючі та допоміжні матеріали.
4. Формові суміші для виливків з чавуну та сталі.
5. Стержньові суміші.
6. Противпригарні покриття та пасти.

2.5. Виготовлення ливарних форм та стержнів

Загальні відомості

Процес виготовлення ливарних форм (формування) та стержнів виконують на формувальних та стержньових дільницях ливарних цехів.

За видом застосовуваної опокової оснастки розрізняють формування в опоках, безопокове, в ґрунті та кесонах. У залежності від застосовуваної модельної оснастки розрізняють формування за моделями (витягуваними, невитягуваними, рознімними, нерознімними), за шаблонами (обертання і протяжними), за ящиками (витрушуваними, рознімними, розбірними).

За способом зміцнення форми розрізняють формування зі зміцненням суміші ущільненням, тепловим сушінням, хімічним твердінням, фізичним способом (магнітними силами, вакуумом тощо).

У залежності від рівня механізації розрізняють три види формування: ручне (в ОВ, МСВ), машинне (в ССВ, МВ), автоматичне (в МВ, рідше ВСВ). При формуванні використовують оснастку та машини, указані в стандартах і нормалях [111].

Ручне формування

Застосовується в ОВ та МСВ і виконується за моделями, шаблонами, в ґрунті, в опоках, в стержнях.

Формування в ґрунті виконується в ямах або кесонах (глибока яма в підлозі цеху, викладена цеглою з застосуванням газовідвідних формових постелей) переважно для великих виливків.

У залежності від маси та висоти вилівка використовують м'які та тверді постелі. М'які постелі (рис. 2.12) застосовують для формування плоских виливків невеликої висоти; тверді (рис. 2.13) – для крупних високих виливків. Формування в ґрунті просте і не потребує обладнання, але копання ям, підготовка постелей та формування – трудомісткі операції, висока кваліфікація формувальників, важкі умови праці.

При формуванні за м'якою постіллю застосовують (рис. 2.12): 1 – металеві бруси, 2 – дерев'яні рейки, 3 – лінійка, 4 – наповнювальна суміш, 5 – облицювальна суміш, 6 – модель вилівка, 7 – дерев'яний брус, 8 – молоток, 9 – ватерпас, 10 – вентиляційна голка, 11 – ливникова чаша, 12 – зливний канал.

При формуванні за твердою постіллю застосовують (рис. 2.13): 1 – газовідвідна труба, 2 – дрібний кокс, 3 – формова суміш, 4 – кокс або коксовий гар (Ø 50-70 мм), 5 – яма, 6 – модель, 7 – опока, 8 – центруючі кілки, 9 – елемент ливникової системи, 10 – гачки, 11 – випорна чаша, 12 – ливникова чаша, 13 – вантаж.

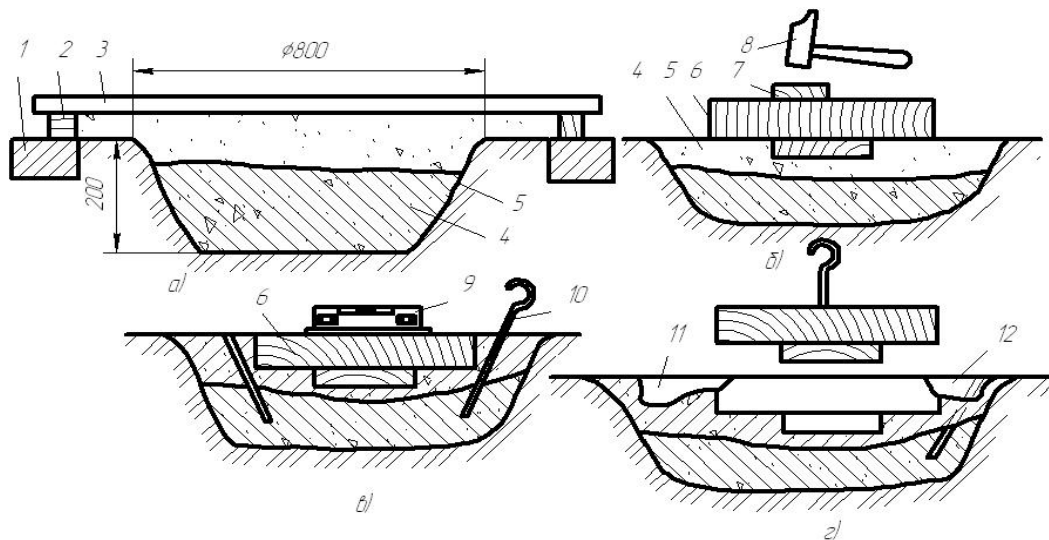


Рис. 2.12. Формування диска в ґрунті за м'якою постіллю

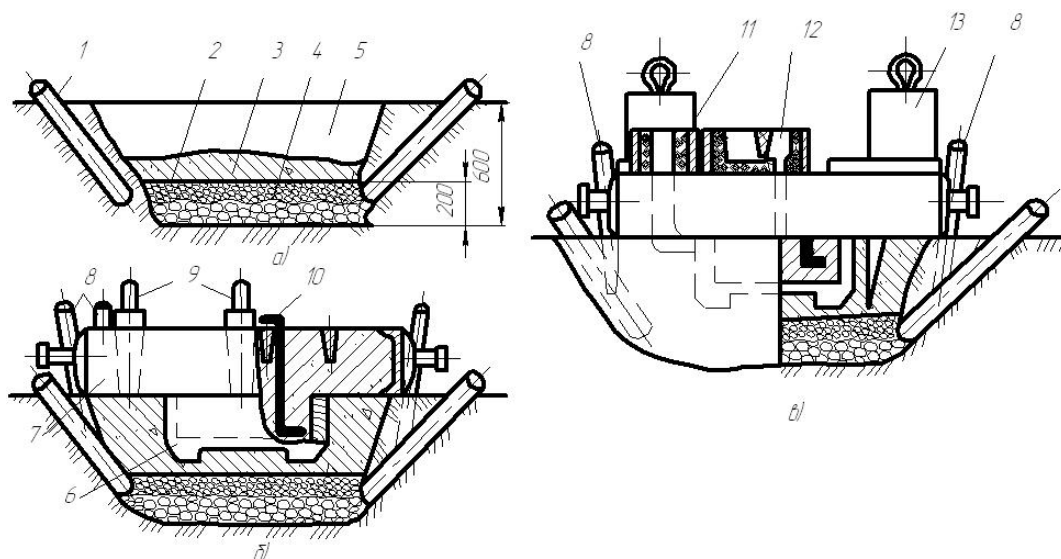


Рис. 2.13. Формування в ґрунті за твердою постіллю

Основне призначення кесона – створити безпечні умови при заливанні форми крупного виливка, запобігти витіканню та викиданню металу з форми.

Формування в опоках в основному виконується за різніми моделями і широко застосовується. Найчастіше застосовують дві, рідше три та більше опоки. Тому що опоки центруються за допомогою штирів (а не кілків), то виливки точніші, а формування продуктивніше, ніж у ґрунті.

У залежності від конфігурації моделі, її конструкції (рознімна чи нерознімна), при виготовленні форм застосовують різні прийоми: формування з підрізкою, з фальшивою опокою, з перекидним болваном, з від'ємними частинами та інші.

При формуванні з підрізкою або перекидним болваном (в ОВ та МСВ) часто можна виключити виготовлення стержньових ящиків. При машинному формуванні такі ручні прийоми не виконують.

Формування в двох опоках за різнімною моделлю показано на рис. 2.14, де: 1 – модельна плита, 2 – половина моделі, 3 – нижня опока, 4 – сито, 5 – трамбівка, 6 – лінійка, 7 – голка.

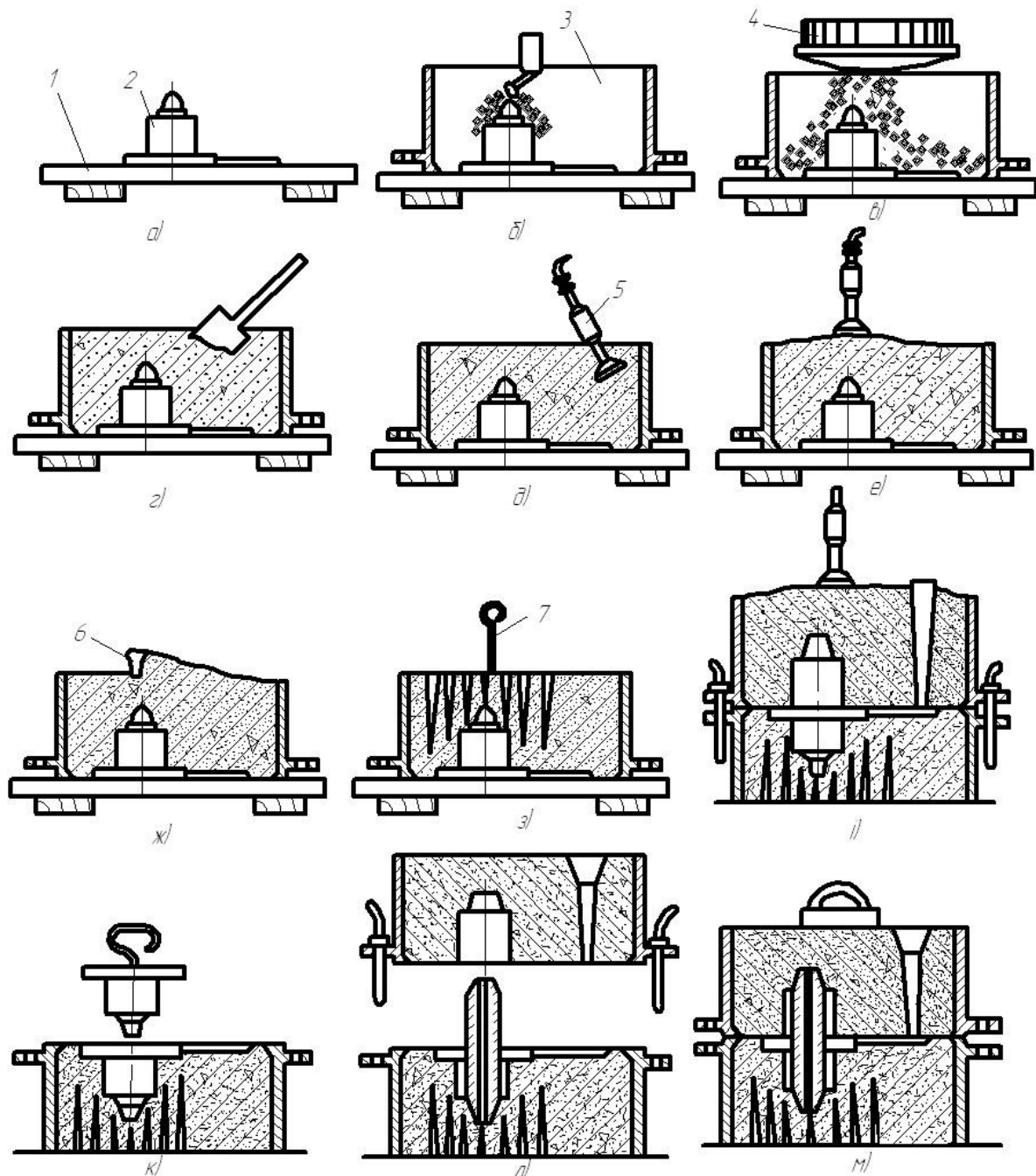


Рис. 2.14. Послідовність технологічних операцій при виготовленні форми в двох опоках

Воно включає такі переходи:

- а) установлення половини моделі на плиту;
- б) припилювання моделі пудрою або протирання гасом з мазутом (50 % + 50 %);
- в) покриття моделі облицювальною сумішшю (15–40 мм);
- г) засипання наповнювальної суміші;
- ж) згрібання надлишкової суміші лінійкою;
- з) проколювання вентиляційних каналів (вони не доходять до моделі на 10–15 мм);
- и) поворот нижньої опоки на 180°, установка за допомогою штирів верхньої опоки і другої половини моделі, стояка та аналогічне формування;
- к) витягування моделі з напівформи (показана тільки одна);
- л) установка стержня;
- м) складання опок.

Щоб розплав не витік у площину рознімання, на неї навколо відбитка моделі (на віддалі 50–70 мм і більше) наносять риски-підрізки, а при заливанні сухих форм на площину рознімання кладуть тонкий шар глини.

Оброблену форму, виготовлену „по-сирому”, перед складанням присипають порошкоподібним графітом або деревновугільним порошком.

При формуванні „по-сухому” поверхню форми не припилюють, а фарбують після сушіння, поки вона не остигла.

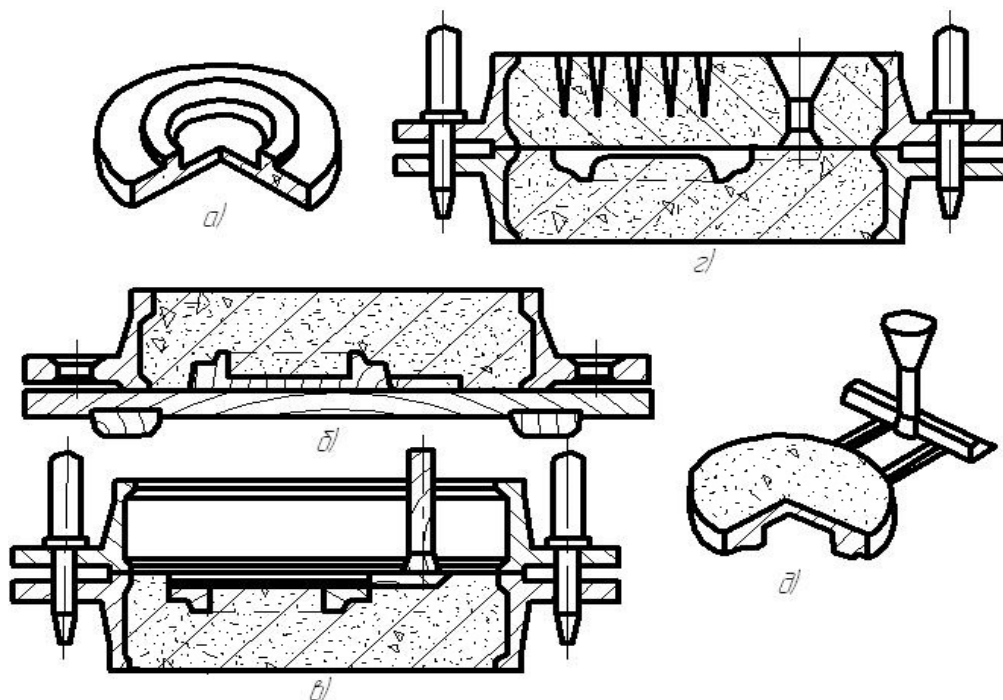


Рис. 2.15. Формування в двох опоках за нерознімною моделлю

Формування в двох опоках за нерознімною моделлю (рис. 2.15) застосовують для простих виливків, хоча б з однією плоскою поверхнею:

- а) нерознімна модель;
- б) формування кришки в нижній опоці;
- в) формування у верхній опоці з ливниковою системою;
- г) складання опоки;
- д) виливок.

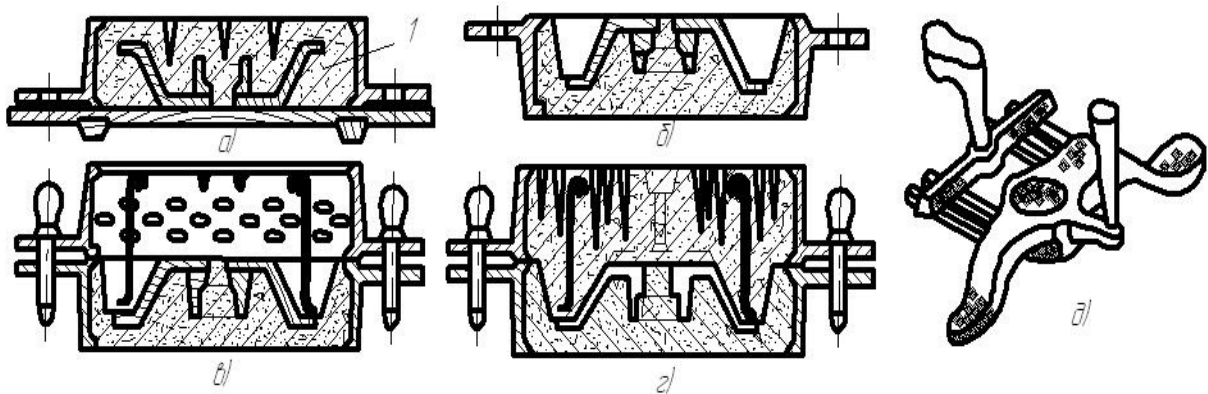


Рис. 2.16. Формування з підрізкою

Формування з підрізкою (рис. 2.16) застосовують при формуванні в опоці за нерознімною моделлю, яка не має площини, придатної для укладання моделі:

- а) формування в нижній опоці моделі, яка не має „не затіненої” порожнини (суміш попадає в тінь 1);
- б) підрізування ланцетом суміші, щоб можна було витягнути модель, порожнину старанно заглажують;
- в) засипання верхньої опоки (роздільні поверхні посипають піском, а глибокі навіть покривають тонким папером, установлюють гачки);
- г) складання форми;
- д) виливок.

Формування з фасонною модельною плитою (рис. 2.17) застосовується при виготовленні декількох десятків виливків за нерознімною моделлю з складною поверхнею. Для цього виготовляють модельні плити 1, в які при формуванні укладають модель 2 (вона виготовляється з двох частин, щоб була простішою модельна плита). При цьому нема необхідності підрізувати поверхню рознімання кожної виготовлюваної форми. Формування з фасонною модельною плитою включає такі переходи:

- а) формування нижньої опоки;
- б) знімання модельної плити (тут можна установити другу частину моделі);
- в) формування остаточне.

При виготовленні 3-5 виливків замість фасонної модельної плити використовують фальшиву опоку (напівформу), для чого суміш ущільнюють (рис. 2.17, б), роблять на ній заглибину по площині I-I і установлюють у неї модель (рис. 2.17, г), закривають вікна бляшаними шайбами ШБ. Фальшиву опоку використовують декілька разів. Процес формування за фальшивою опокою включає такі переходи:

- г) формування нижньої опоки за фальшивою опокою;
- д) видалення фальшивої опоки та установлення віднімної частини моделі;
- е) остаточне формування.

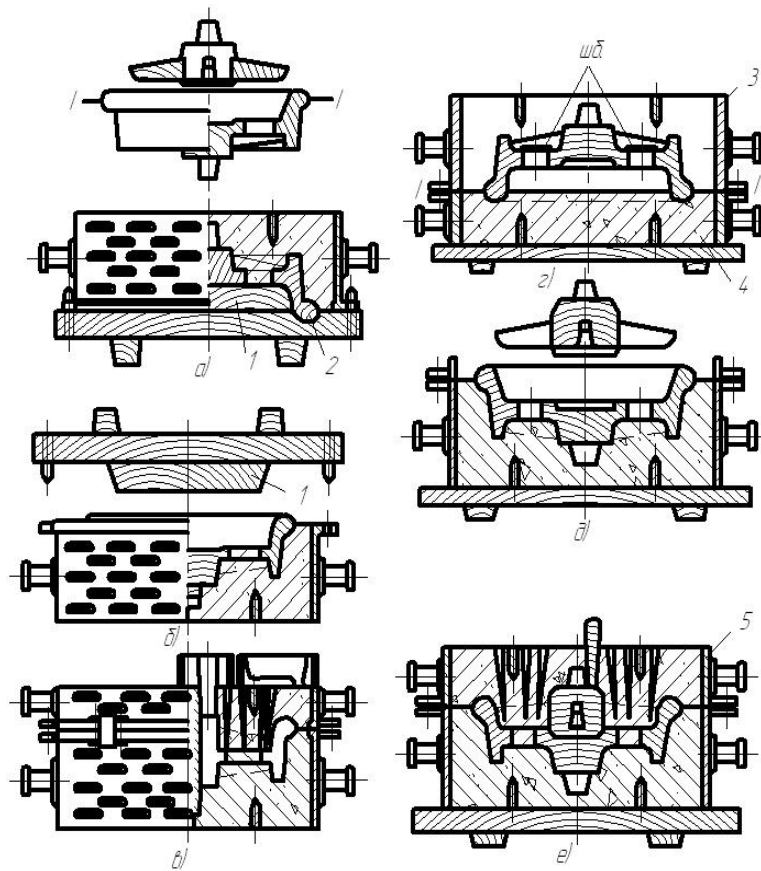


Рис. 2.17. Формування з фасонною модельною плитою та фальшивою опокою

Формування з перекидним болваном за рознімною моделлю (рис. 2.18). Воно застосовується в ОВ невеликих виливів, які мають піднутрення або порожнини, що виконуються піщаними болванами замість стержнів.

Процес формування заготовки канатного блоку включає такі переходи:

- а) креслення деталі;

- б) установка на половину моделі стояка і формування верхньої опоки;
- в) ручне підрізування поверхні 6, посипання її роздільним піском, установка другої напівмоделі і формування болвана – кільця 5 з ручним затиранням поверхні 8 і посипання її роздільним піском;
- г) установлення і заповнення нижньої опоки 11, її знімання, видалення верхньої половини моделі і установка опоки 11 на попереднє місце;
- д) поворот двох опок на 180°, знімання верхньої опоки, видалення другої половини моделі (при цьому болван залишається на місці), остаточне складання форми.

Застосовують також формування в декількох опоках, за шаблоном, у стержнях, за скелетними моделями, за газифікованими моделями та інші.

При ручному формуванні форми виготовляють з швидкотвердіючих (з рідким склом, ПСС, РСС) та холоднотвердіючих сумішей (ХТС).

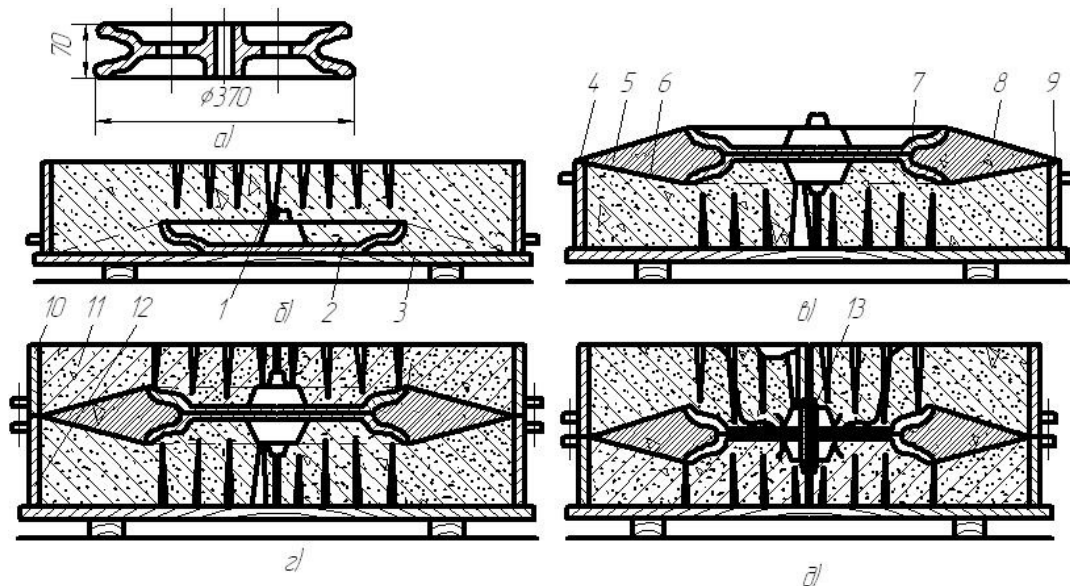


Рис. 2.18. Формування з перекидним болваном

Машинне формування

Його застосовують в СВ та МВ. Машинне формування більш продуктивне, вища точність виливків та менші припуски на обробку; механізовані трудомісткі операції ущільнення формової суміші та витягання моделей. Точність при машинному формуванні підвищується внаслідок точніших з меншими уклонами моделей, заміни розштовхування моделей вібрацією їх при витягуванні з форми, доброго центрування опок.

Машинне формування, як правило, виконується в двох опоках і форма складається з верхньої та нижньої напівформ. Напівформи звичайно виготовляють на різних машинах, а моделі на односторонніх плитах

кріпляться жорстко. У МСВ застосовують металеві модельні плити з дерев'яними вкладишами, в СВ – складені металеві модельні плити (рис. 2.19), в ОВ і МСВ – іноді координатні модельні плити з різьбовими та базовими отворами.

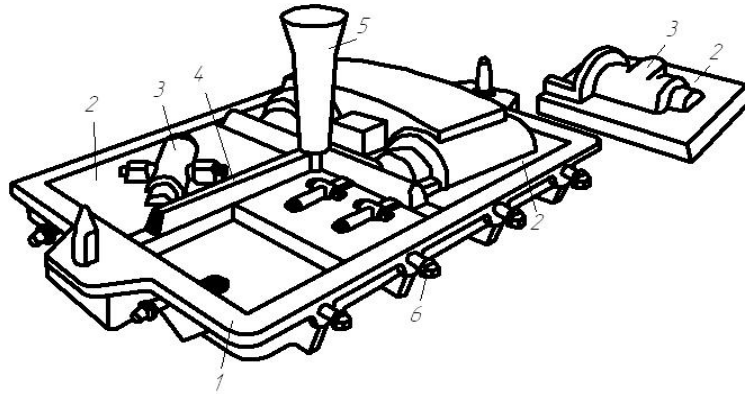


Рис. 2.19. Збірна модельна плита з вкладишами

Найтруднішими і відповідальними операціями є ущільнення ливарної форми і витягання моделі. При машинному формуванні все виконується швидко, виключені ручні операції (прошивання вентиляційних отворів голкою, підрізування, використання від'ємних частин, перекидних болванів). Застосовують єдину формову суміш з високою міцністю і газопроникністю.

На рис. 2.20 показані схеми виготовлення форми при ручному формуванні з підрізкою і машинному формуванні (виключена підрізка, ливникові канали при машинному формуванні виконують за допомогою моделей, а не прорізають вручну, а стояк – за допомогою моделі стояка з підпружиненою чашею).

У СВ для середніх і великих виливків іноді застосовують облицювальну і наповнювальну суміші, від'ємні частини на моделі.

Для ущільнення формової суміші при машинному формуванні найчастіше використовують такі способи: пресуванням, струшуванням, струшуванням з допресуванням, повітряним імпульсом та піскометний.

Ущільнення пресуванням розділяється на два способи: верхнє та нижнє. При верхньому пресуванні (рис. 2.21, а) пресова колодка 5 входить всередину наповнювальної рамки 4, витискуючи ФС в опоку. Висота пресової колодки дорівнює висоті наповнювальної рамки. При верхньому пресуванні піднімається стіл 1 або опускається траверса 6.

При нижньому пресуванні (рис. 2.21, б) формової суміші, стіл 1 з моделлю 2 переміщується вгору відносно рамки 5 і в опці 3 утворюється порожнина. Коли опока наповнена сумішшю, над нею установлюють нерухому траверсу 4. Верхнє пресування, незважаючи на гірше ущільнення

суміші біля моделі, застосовується частіше, тому що воно простіше і менший знос машини від тертя об абразивну суміш, ніж при нижньому пресуванні.

Щільність неущільненої ФС приблизно $1 - 1,1 \text{ г/см}^3$, а ущільненої – $1,4 - 1,6 \text{ г/см}^3$.

Для рівномірного ущільнення ФС застосовують пресування з вібрацією, підвищують тиск пресування, застосовують профільні колодки (рис. 2.22, а, б), та багатоплунжерні пресові колодки (рис. 2.22, в), які працюють за принципом гідропласта.

При ущільненні струшуванням (рис. 2.23) найкраще ущільнені нижні шари ФС. Для усунення малого ущільнення верхніх шарів форми струшування суміщують з пресуванням.

Недоліки цього способу: шум, вібрації, великий час ущільнення у порівнянні з пресуванням.

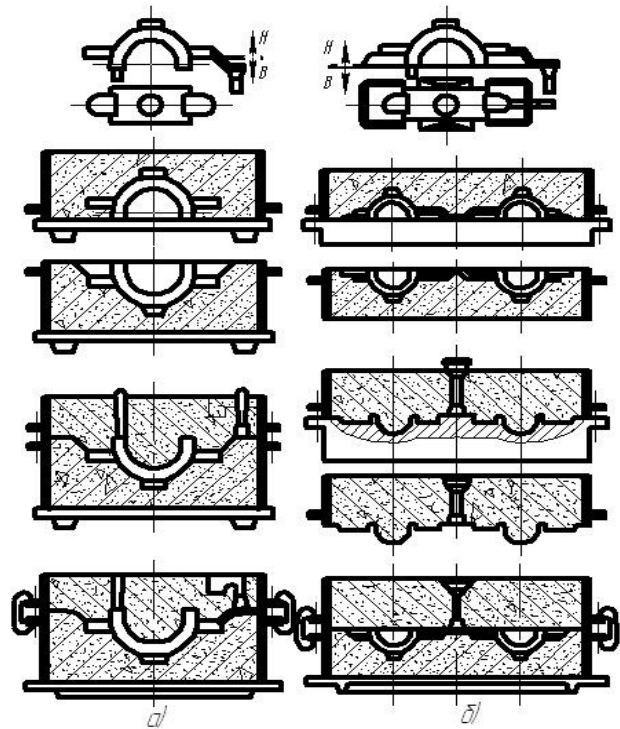


Рис. 2.20. Схема виготовлення форми для отримання виливка кришки підшипника вручну (а) і на машинах (б)

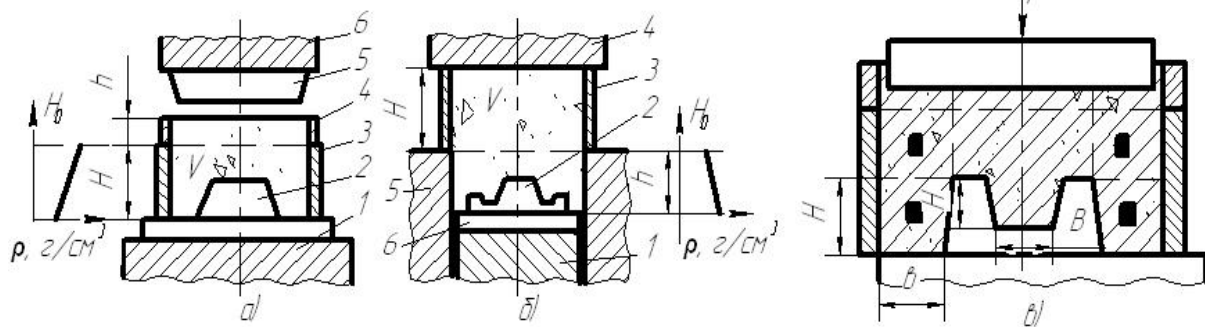


Рис. 2.21. Схема верхнього (а), нижнього (б) пресування і перетікання суміші (в) в процесі її пресування в опоці з моделлю

Схема ущільнення повітряним імпульсом показана на рис. 2.24. Повітря під тиском 5-8 МПа через розсікаючу плиту 4 входить в опоку 3 і виходить через отвори-vented в нижній плиті 1. В результаті отримують

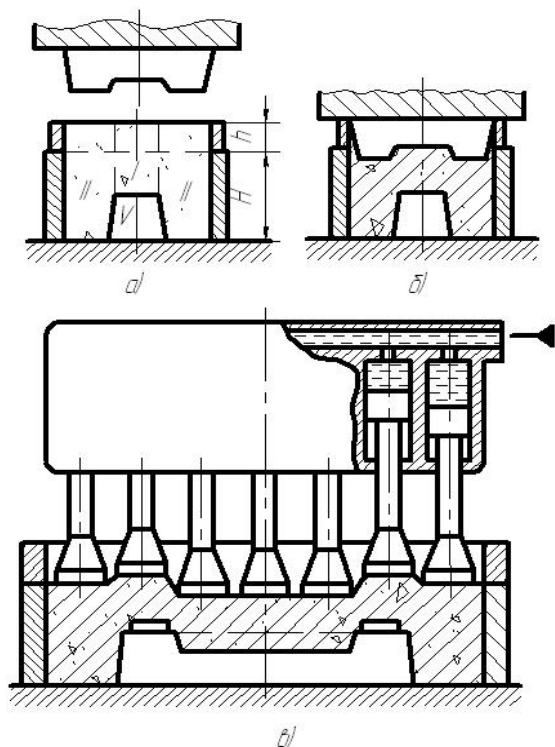


Рис. 2.22. Схеми ущільнення форм пресуванням профільною (а, б) і багатоплунжерною (в) колодками

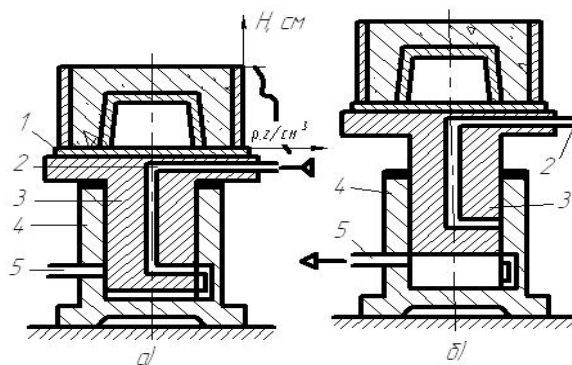


Рис. 2.23. Ущільнення формувальної суміші струшуванням

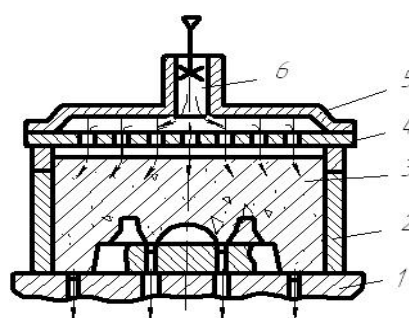


Рис. 2.24. Схема ущільнення формувальної суміші повітряним імпульсом

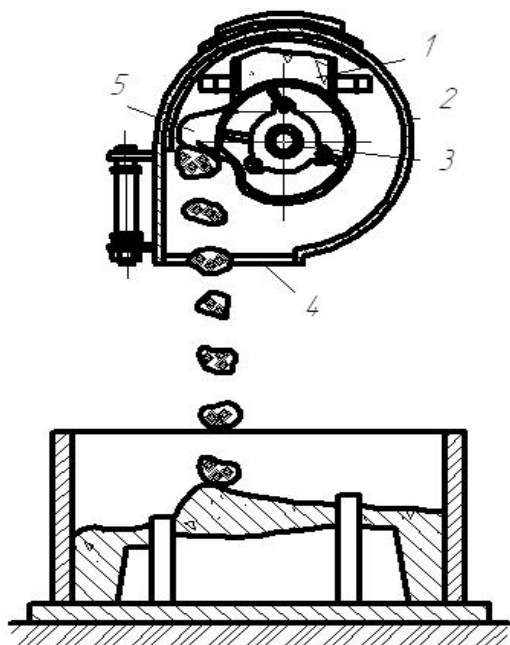


Рис. 2.25. Схема роботи піскомета

пористі форми високої і рівномірної щільності. Спосіб відрізняється дуже високою продуктивністю і застосовується в СВ для виготовлення середніх і крупних виливків.

Ущільнення піскометом (рис. 2.25) дозволяє при обертах головки 1450 хв^{-1} і швидкості суміші до $16\text{-}30 \text{ м/с}$ отримувати високу і рівномірну щільність форми. Його застосовують для виготовлення крупних і особливо крупних виливків в опоках не менших $700 \times 600 \text{ мм}$. Продуктивність його – $3\text{-}50 \text{ м}^3/\text{г}$.

Застосовують також вакуумне формування та магнітні форми, безопокове формування (на двосторонніх модельних плитах) з наступним одяганням дешевого жакета (щоб не було відносного зміщення напівформ, на модельних плитах передбачають замки у вигляді уступів).

Виготовлення стержнів

Стержні застосовують для утворення у виливках отворів та порожнин, а також для отримання зовнішніх поверхонь виливків з піднутренням. Стержні працюють у дуже складних умовах і за складністю діляться на 5 класів.

Стержні повинні мати знаки, пофарбовані в чорний колір, які забезпечують стійкість стержня у формі, точну фіксацію його положення, а також вивід газів, що виділяються з стержня при заливанні форми. Для підвищення міцності стержнів застосовують каркаси з дроту або чавунні (литі), які повинні забезпечувати достатню міцність і жорсткість стержня, не гальмувати усадку виливка, легко видалятися з виливка (найчастіше з м'якого відпаленого дроту). Каркаси в МВ не застосовують, а застосовують міцні стержньові суміші.

Стержні виготовляють за нерознімними витрушуваними ящиками, за рознімними ящиками, за ящиками з від'ємними частинами (вкладишами).

Стержні виготовляють на піскодувних та піскострільних машинах, у звичайних та гарячих ящиках; з піщано-рідкоскляних сумішей, які тверднуть при продувці CO₂, з ПСС, з ХТС, з РСС.

На стержньових машинах використовують суміші пониженої міцності у вологому стані, що забезпечує добре заповнення ящика по всьому об'єму. Для підвищення міцності, газопроникності і зменшення газотвірної здатності стержні сушать, а часто фарбують і сушать.

У формах стержні часто кріплять за допомогою металевих неокислених жеребейок (рис. 2.26).

Щоб опоки при заливанні не розходились, їх зкріплюють скобами, струбцинами, кладуть на них вантажі тощо. Маса вантажу розраховується виходячи з висоти стояка над площиною рознімання форми (тобто тиску стовпа металу), помноженого на переріз виливка у площині рознімання форми. Техпроцес виготовлення стержнів аналогічний технології виготовлення форм.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Виготовлення ливарних форм та стержнів. Загальні відомості.
2. Способи ручного формування.
3. Машинне формування.
4. Виготовлення стержнів.

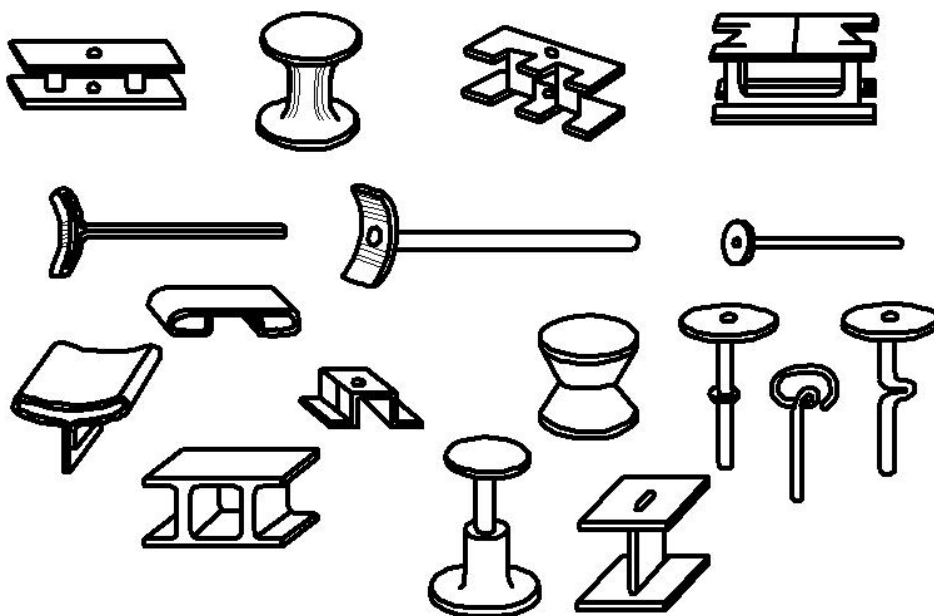


Рис. 2.26. Конструкції жеребейок

2.6. Ливникові системи

Типи ливникових систем

Ливниковою системою (ЛС) називають сукупність каналів та резервуарів, по котрих рідкий метал з ковша поступає у порожнину ливарної форми (ЛФ). ЛС суттєво впливає на якість виливка [111].

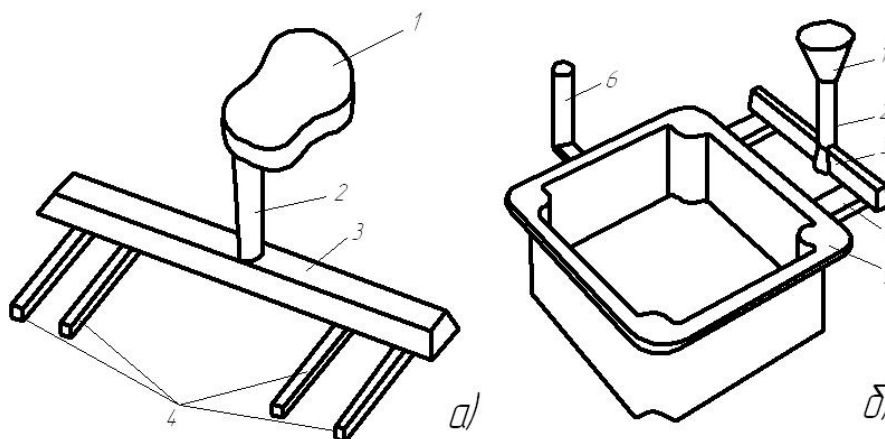


Рис. 2.27. Елементи ливникової системи (а) та чавунний виливок з ливниками (б)

Основними елементами ЛС є (рис. 2.27): ливникова воронка або чаша 1 – це резервуар, який призначений для приймання рідкого металу з ковша, часткового затримання шлаку (у чаші) та передачі металу в стояк; стояк 2 – вертикальний або нахилений канал круглого, овального або іншого

перерізу, що призначений для передавання металу з чаші (воронки) до інших елементів ЛС (шлаковловлювача, живильників); ливниковий хід 3, котрий називають „шлакоуловлювачем” для чавунного лиття і „колектором” для кольорового – це горизонтальний канал, призначений для остаточного затримання шлаку і передачі металу з стояка до живильників (його найчастіше виконують у верхній напівформі); живильники 4 (ливники) – це канали, що призначені для передачі металу безпосередньо у порожнину форми; випор 6 – призначений для виходу повітря та газів і контролю рівня заливки.

Ливникові системи ділять на п'ять основних типів (рис. 2.28).

а). Верхня ЛС. Живильники підводять або у верхню частину виливка, або в додаток, або під додаток.

б). Нижня або сифонна ЛС. Живильники підводять у нижню частину виливка.

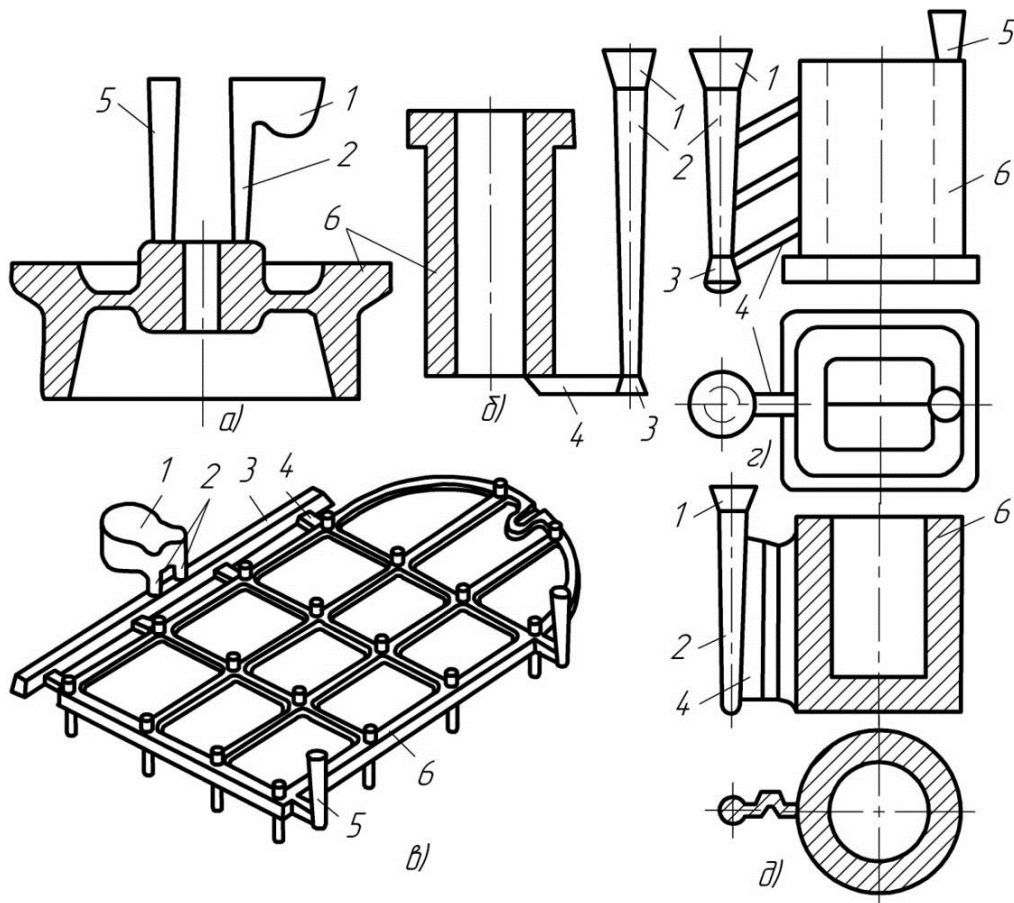


Рис. 2.28. Типи ливникових систем:

а – верхня; б – нижня (сифонна); в – бокова; г – ярусна (поверхова);
 д – вертикально-щілинна (різновидність ярусної); 1 – чаша (воронка);
 2- стояк; 3 – ливниковий хід; 4 – живильник; 5 – випор; 6 – виливок

в). Бокова ЛС. Живильники підводять у площині рознімання форми.

г). Ярусна (поверхова) ЛС. Живильники підводять до виливка на декількох рівнях. Різновидністю ярусної ЛС є вертикально-щілинна ЛС (д).

Дошова ЛС (на рис. не показана), коли розплав підводять у форму зверху через ряд отворів малого діаметра, котрі виконані в ливниковій чаші або спеціальному стержні.

Завжди стараються, щоб при отриманні якісного виливка розхід металу був найменшим.

Верхня ЛС найпростіша за конструкцією, потребує невеликого розходу металу, створює сприятливі умови для живлення та направленої кристалізації виливка (тому, що забезпечує підвищення температури від нижньої частини форми до верхньої), але при падінні металу з висоти розмивається форма, утворюються засмітки, метал розбризкується і окислюється, у ньому збільшується кількість неметалевих включень. Верхня ЛС не забезпечує затримування шлаку. Її застосовують для низьких виливків невеликої маси, простої конфігурації, з малою та середньою товщиною стінок.

Нижня сифонна ЛС забезпечує спокійне заповнення ЛФ, усуває небезпеку розмивання форми та утворення засміток. Однак нижній підвід металу створює несприятливе розподілення температури в об'ємі металу (гарячий метал поступає знизу), збільшує внутрішні напруги. Ця ЛС складна у виготовленні і потребує підвищеного розходу металу. Її застосовують для середніх та крупних виливків великої маси та висоти з товстими стінками.

Боковий підвід металу у площину рознімання форми є одним з найбільш розповсюджених способів заливання форм різних виливків, особливо виливків, у котрих площина симетрії співпадає з площиною рознімання форми. Бокова ЛС у порівнянні з верхньою зменшує висоту падіння металу і можливість руйнування форми, разом з тим погіршує умови кристалізації та збільшує розхід металу. Вона застосовується для виливків невеликої висоти, середньої маси, великих розмірів у площині рознімання. Широко застосовується при машинному формуванні і її легко виконати.

Ярусна ЛС застосовується для крупних важких виливків. Вона забезпечує краще живлення виливків, ніж сифонна ЛС. Яруси ЛС повинні подавати метал у порожнину форми послідовно, знизу догори. Вона найскладніша у виконанні і потребує максимального розходу металу.

Вертикально-щілинна ЛС, яка забезпечує спокійне заповнення форми при збереженні направленості твердіння, використовується для лиття кольорових сплавів.

Дощова ЛС застосовується, в основному, для виливків циліндричної форми. Метал з стояка попадає в кільцевий колектор, звідки по живильниках стікає у порожнину форми. При цьому він не повинен розбризкуватися, щоб не утворювались краплі металу, котрі не зварилися з виливком, – „корольки“.

Вибір місця для підводу живильників

На якість сильно впливає вибір місця для підводу живильників до виливка. При цьому стараються забезпечити або направлене твердіння, або одночасне, рівномірне охолодження різних частин виливка. Як правило, живильники підводять до поверхонь виливка, що підлягають обробці.

Для виливків з товстими стінками, масивними вузлами, схильними до утворення усадочних раковин, щоб створити направлену кристалізацію, більш масивні частини форми виливка розміщують над тонкими і метал підводять до найбільш масивних частин виливка. Такий підвід підсилює ефект направленого тверднення.

Тому сталь, яка має велику усадку і занижену рідкотекучість, підводиться в товсті перерізи, під додатки для того, щоб розігріти форму біля додатку і поліпшити живлення твердіючого виливка. Такий підвід сплаву також застосовується для спеціальних бронз, латуней, деяких алюмінієвих сплавів.

Одночасне та рівномірне тверднення та охолодження виливка досягається підводом металу в тонкі частини виливка і відповідним розміщенням живильників. Це особливо важливо для виливків великої протяжності зі стінками різної товщини.

Сірий чавун, який має невелику усадку, підводиться в тонкі перерізи форми. У цьому випадку швидкість охолодження тонких і масивних частин вирівнюється, знижується небезпека появи внутрішніх напруг.

Магнієві сплави, які мають понижену рідкотекучість, підводять у форми розосереджено через велику кількість живильників, розміщених з усіх боків виливка, щоб збільшити швидкість заповнення форми і усунення недоливів.

Для виготовлення виливків застосовують ливникові системи, які звужуються – $F_{\text{ст}} > F_{\text{шл}} > F_{\text{жив}}$, і які розширюються – $F_{\text{ст}} < F_{\text{шл}} < F_{\text{жив}}$, де $F_{\text{ст}}$, $F_{\text{шл}}$, $F_{\text{жив}}$, відповідно, перерізи стояка, шлакоуловлювача, живильників.

ЛС, які звужуються, краще уловлюють шлак, зменшують інжекцію (підсмоктування) повітря, збільшують швидкість проходження металу через канали ЛС. Їх застосовують при литті сплавів, які не схильні до окислення, утворюють неміцні окисні плівки, тобто при литті чорних металів та сплавів.

ЛС, які розширюються, зменшують швидкість руху металу, забезпечують спокійне заповнення порожнини форми без окиснення металу. Їх застосовують при литті сплавів, схильних до окислення, які утворюють міцні окисні плівки.

Розрахунок ливникових систем

При розрахунку ЛС необхідно враховувати такі вимоги:

- ЛС повинна забезпечувати заповнення форми за оптимальний час з оптимальною швидкістю;
- в усіх перерізах ЛС тиск газів повинен бути рівним або вищим від атмосферного, щоб виключити підсмоктування газів;
- при заданій тривалості заливання швидкість металу, який витікає з живильників, повинна бути невеликою;
- ЛС повинна затримувати неметалеві включення;
- розхід металу на ЛС повинен бути мінімальним.

Невиконання цих вимог може викликати брак виливка. Форма повинна заповнюватись з максимальною ваговою швидкістю і мінімальною лінійною швидкістю поступання металу у форму. Швидке заповнення форми необхідне для того, щоб метал почав тверднути не раніше, ніж будуть заповнені усі порожнини форми, однак лінійна швидкість його руху повинна бути мінімальною, щоб виключити турбулентність потоку, що сприяє підвищеному окисненню металу. Це досягається збільшенням ширини каналів ЛС у певних межах, щоб не збільшувати суттєво розхід металу. Для розрахунку ЛС використовують різні залежності, що базуються на законах гідравліки, емпіричні формули та номограми.

Розрахунок ЛС зводиться до визначення площі найменшого перерізу ЛС (стояка або живильників) з наступним визначенням площ перерізів решти елементів системи.

Площу найменшого перерізу $F_{\text{нп}}$ визначають за формулою:

$$F_{\text{нп}} = \frac{1000Q}{\tau\mu\gamma\sqrt{2gH_p}}, \text{ см}^2,$$

де Q – маса металу, який проходить через мінімальний переріз, кг;

τ – тривалість заливання форми, с;

γ – густина розплаву, г/см³;

μ – коефіцієнт розходу ЛС, який ураховує втрати на тертя, повороти;

H_p – розрахунковий напір, см;

$g = 980 \text{ см/с}^2$ – прискорення земного тяжіння.

Тривалість заливання визначають за формулою:

$$\tau = S \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot Q}, \text{ с},$$

де δ – переважаюча товщина стінки виливка, мм;

S – коефіцієнт, що залежить від товщини стінки і конфігурації виливка. Він дорівнює для сплавів: чавуну – 1,7 - 2,0; сталі – 0,91-1,7; мідних – 2,0-2,1; алюмінієвих – 1,7-3,0; магнієвих – 2,3-4,5.

За таблицями μ для чавунних виливків при заливанні в сиру форму дорівнює 0,35-0,50 і в суху – 0,41-0,60; для сталі, відповідно, – 0,25-0,42 і 0,30-0,50.

Напір H_p залежить від способу заливання, типу ЛС, положення виливка у формі та інших факторів.

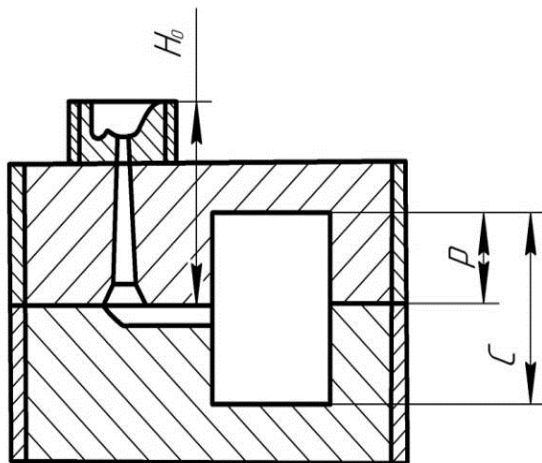


Рис. 2.29. До розрахунку напору H_p при підводі металу через роз'єм форми

Для визначення напору при заливці через ливникову чашу необхідно враховувати рівень металу H_0 в чаші (рис. 2.29), а при заливці через воронку – рівень металу в ковші. Як правило, величина напору у процесі заповнення форми змінюється в значних межах.

При заливанні металу з поворотного ковша через ливникову чашу (рис. 2.29) частина форми, котра розміщена нижче рівня підводу металу, заповнюється при постійному напорі H_0 , а частина форми, яка розміщена вище від рівня підводу металу, – при меншому напорі, який змінюється від

H_0 до $H_0 - p$. Тому у формулу вводять середній напір H_p .

При заливанні металу з поворотного ковша частина форми, котра розміщена нижче рівня підводу металу, заповнюється при постійному напорі H_0 , а частина форми, яка розміщена вище від рівня підводу металу, – при меншому напорі, який змінюється від H_0 до $H_0 - p$. Тому у формулу вводять середній напір H_p .

Для найбільш розповсюдженого випадку підводу металу у площині рознімання форми (рис. 2.29)

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{2c}, \text{ см,}$$

де H_0 – початковий максимальний напір, см;

p – віддаль від найвищої точки виливка до рівня підводу, см;

c – висота виливка за положенням при заливці, см.

Площі перерізів інших елементів ЛС визначають за співвідношенням перерізів.

Особливості ливникових систем для різних сплавів

Чавун звичайно заливають через носик ковша, тому велика вірогідність попадання шлаку у виливок. Для попередження цього застосовують ЛС, що звужуються і краще уловлюють шлак, застосовують ливникові чаші з перегородкою або порогом, різні шлакоуловлювачі та фільтруючі пристрої. Для того, щоб легкий шлак не попав у виливок, його частинки повинні мати можливість спливати на поверхню і залишатися в шлаковловлювачі. Щоб забезпечити затримання в шлаковловлювачі цих частинок, переріз останнього повинен бути більшим від перерізів живильників, його довжина в декілька разів більшою від висоти. З цією метою застосовують гальмуючі ЛС, які складаються з двох або більше колін, розміщених у різних напівформах і під кутом один до другого; фільтруючі сітки, що зменшують швидкість руху металу, або відцентрові шлаковловлювачі. У більшості випадків чавун підводять у тонкі частини виливка.

Для чавуну $F_{\text{жив}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,2 : 1,4$.

Аналогічне відношення можна прийняти для сталі.

При виборі ЛС для кольорових сплавів (Cu, Al, Mg), особливу увагу звертають на спокійне, плавне заповнення форми. З цією метою застосовують ЛС, що розширюються, надають перевагу сифонному заливу через ріжкові живильники (рис. 2.30) або вертикально-щілинні ЛС, котрі забезпечують спокійне заповнення форми і направленість тверднення.

Для алюмінієвих і магнієвих сплавів

$F_{\text{ст}} : F_{\text{кол}} : F_{\text{жив}} = 1 : 2 : 4$ (1 : 3 : 6),

для мідних сплавів

$F_{\text{ст}} : F_{\text{кол}} : F_{\text{жив}} = 1 : 2 : 2$ (1 : 2 : 4 або 1 : 4 : 4).

Завдяки застосуванню стопорних ковшів (рис. 2.31, г), при заливанні сталі усувається небезпека попадання шлаку у виливок. ЛС не має складних шлаковловлювачів, ливникові чаші замінюють воронками. Широко застосовують сифонні та ярусні ЛС, які забезпечують спокійне заповнення форми. Для важких сталевих виливків ЛС часто виконують керамічними.

Для сталевих виливків велике значення мають додатки та випори, тому для ефективної роботи додатків метал підводять під додаток виливка або періодично підливають метал у додаток.

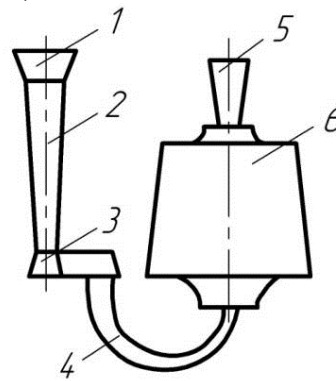


Рис. 2.30. Ливникова система з ріжковим живильником

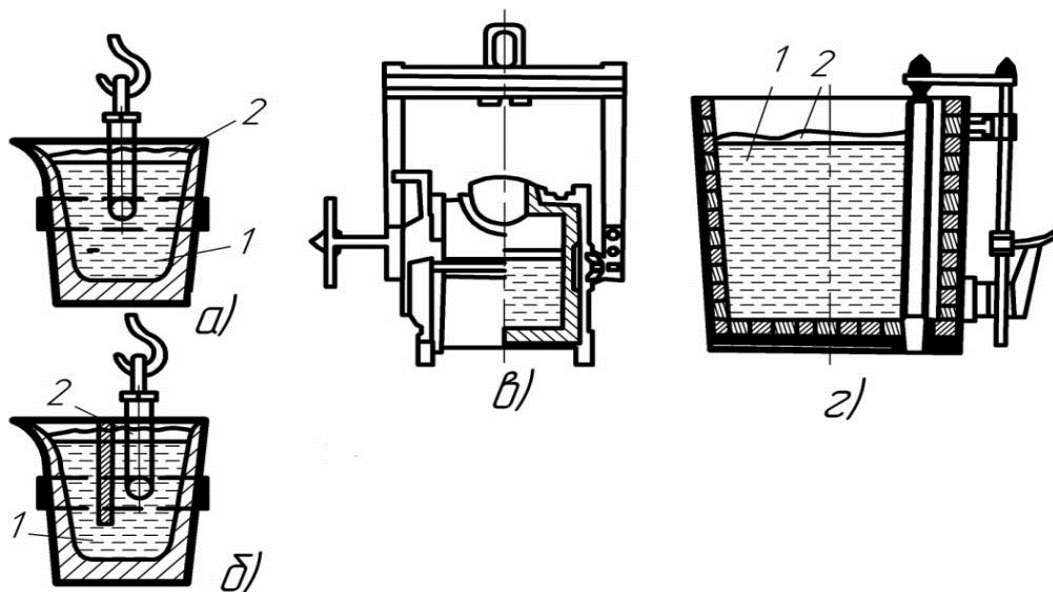


Рис. 2.31. Типи ливарних ковшів:

а) – з носиком; б) – чайниковий; в) – барабанний;
г) – стопорний; 1 – рідкий метал; 2 – шлак

Додатки

Додатки установлюють над масивними т. з. термічними вузлами. При цьому ці вузли для направленої кристалізації повинні розміщуватись зверху, а тонкі стінки – внизу. Тому додатки найчастіше розміщують зверху, але іноді вони живлять розплавленим металом місцеві термічні вузли, розміщені збоку, або в нижній частині форми, і розміщуються біля них.

Ефективність роботи додатків забезпечується при додержуванні наступних умов:

тривалість тверднення додатку повинна перевищувати тривалість тверднення тієї частини виливка, яку живить додаток;

запас рідкого металу в додатку повинен компенсувати усадку металу під час тверднення;

форма і місце установлення додатку повинні забезпечувати вільний доступ розплаву з додатку в ті частини, де його немає;

усадочна раковина повинна розміщуватись у додатку.

Додатки бувають прямі (рис. 2.32, а), що установлюються безпосередньо на вузол, який живиться (вони можуть бути відкриті і закриті) і відвідні (рис. 2.32, б). Закриті додатки економічніші, повільніше остигають, їх трубками з'єднують з атмосферою. Відкриті додатки дозволяють доливання металу і їх застосовують для крупних відповідальних виливків.

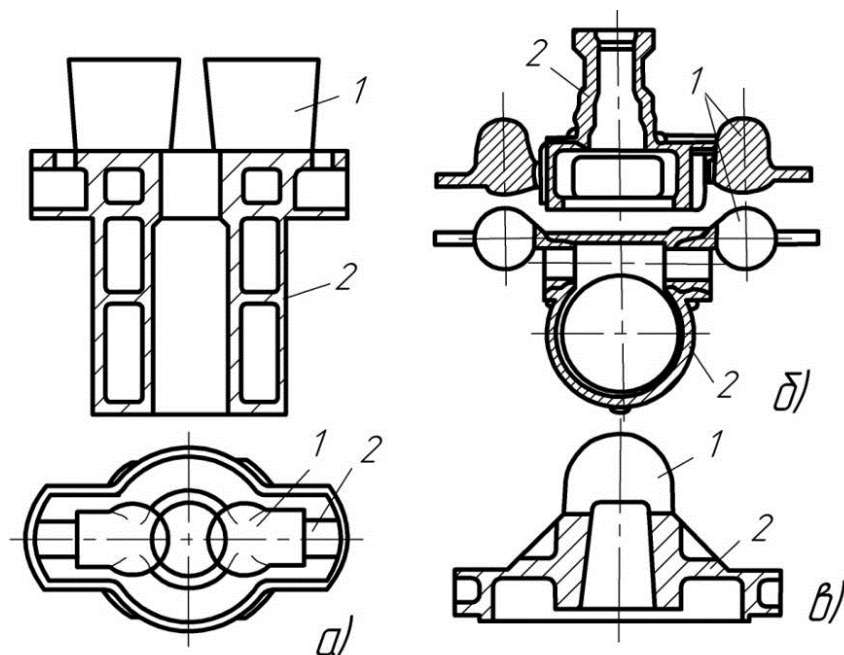


Рис. 2.32. Типи додатків:

а – прямі (верхні); б – відвідні (бокові); в – сферичні;
1 – додаток; 2 – виливок

Відвідні додатки живлять місцеві термічні вузли, вони гірші від прямих і повинні розміщуватись вище від вузла, який вони живлять, а шийка повинна бути короткою і мати найменшу поверхню охолодження. Їх застосовують при крайній необхідності.

Сталеві додатки видаляють автогенним різанням, а додатки з кольорових сплавів – стрічковими та дисковими пилами. Застосовують також додатки, що легко відділяються і установлюються через діафрагму (рис. 2.33).

Об'єм додатку для сталевих виливків сягає 25-60 %, а для кольорових сплавів – 35-85 % від об'єму виливків. Для чавунних виливків додатки застосовують дуже рідко. Для поліпшення роботи додатків у них підливають рідкий метал. У відкриті додатки додатково підводять тепло, засипаючи їх люнкернітом (він згоряє, виділяючи тепло). У додаток подають стиснене повітря, або обігрівають електрикою.

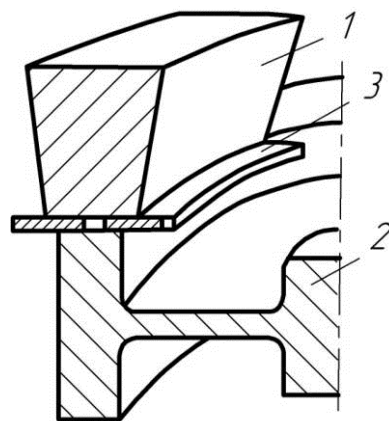


Рис. 2.33. Додаток, який легко відділяється: 1 – додаток; 2 – виливок; 3 – діафрагма

Контрольні питання для самоперевірки

1. Типи ливникових систем.
2. Вимоги до ливникових систем.
3. Вибір місця для підводу живильників.
4. Розрахунок ливникових систем.
5. Особливості ливникових систем для різних сплавів.
6. Додатки.

2.7. Проектування ливарної технології

Конструювання виливка

За Прейскурантом оптових цін №25-01 1990 р. усі виливки за складністю розділяють на 6 груп складності [86].

До 1-ої групи (рис. 2.34) відносяться виливки простої геометричної форми: плоскі, круглі або напівсферичні; зовнішні поверхні гладкі або плоскі з наявністю невисоких ребер, бобишок, отворів, заглиблень. Зовнішні поверхні виготовляють без стержнів або від'ємних частин. Внутрішні порожнини неглибокі; виконуються переважно болваном або простим стержнем.

До 2-ої групи відносяться виливки (рис. 2.35) у вигляді поєднання простих геометричних тіл відкритої коробчастої форми. Зовнішні поверхні – плоскі та криволінійні, з наявністю ребер, бортів, кронштейнів, фланців з отворами і т. п. Окремі частини виконуються з використанням стержнів. Внутрішні порожнини – прості, великої протяжності або високі.

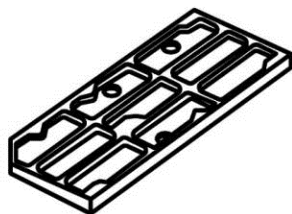
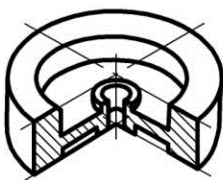


Рис. 2.34. Виливки 1-ї групи складності

Рис. 2.35. Виливки 2-ї групи складності

До 3-ої групи відносяться виливки (рис. 2.36) відкритої коробчастої форми, сферичної, циліндричної, напівсферичної та інших форм. Зовнішні поверхні – криволінійні та плоскі, з наявністю нависаючих частин, ребер, фланців, з отворами відносно складної форми. Частину виливка виконують з використанням стержнів. Внутрішні порожнини – окремі з'єднання геометричних фігур великої протяжності або високі, з незначними

виступами або заглибленнями, розміщеними в одному або двох ярусах, з відкритими виходами.

До 4-ої групи відносяться виливки (рис. 2.37) закритої та частково відкритої коробчастої та циліндричної форми. Зовнішні поверхні – криволінійні та плоскі, з фланцями, що примикають, кронштейнами і т. п. різної конфігурації, багато з них виконуються стержнями. Внутрішні поверхні – складної конфігурації, з западинами, розміщеними в 1-2 ярусах, та мають 1-2 вільних виходи.

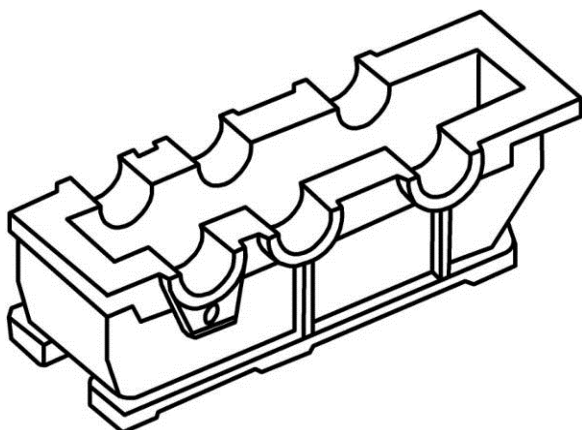


Рис. 2.36. Виливки 3-ї групи складності

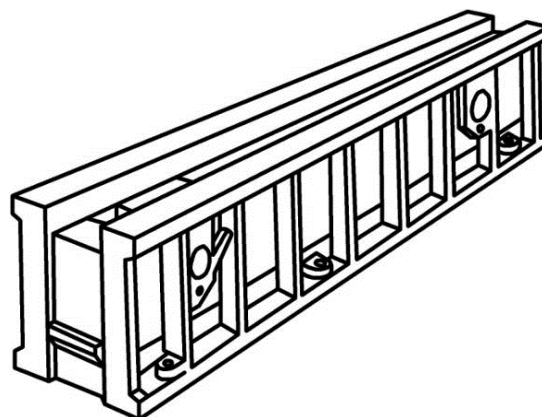


Рис. 2.37. Виливки 4-ї групи складності

До 5-ої та 6-ої груп відносяться виливки (рис. 2.38) закритої коробчастої форми. Зовнішні поверхні – криволінійні або прямолінійні, з кронштейнами, що примикають та пересікаються, фланцями та патрубками, розміщеними в різних рівнях. Часто це великі та масивні виливки. Для отримання зовнішніх поверхонь можуть застосовуватися стержні. Внутрішні порожнини мають складну конфігурацію, з криволінійними поверхнями, що пересікаються під різними кутами і на різних рівнях, з виїмками та виступами.

У залежності від умов формування елементів вилівка у формі, встановлено три види розмірів:

ВР-1 – це розміри елементів вилівка, що утворюються однією частиною форми або одним стержнем (на них допуски призначають за

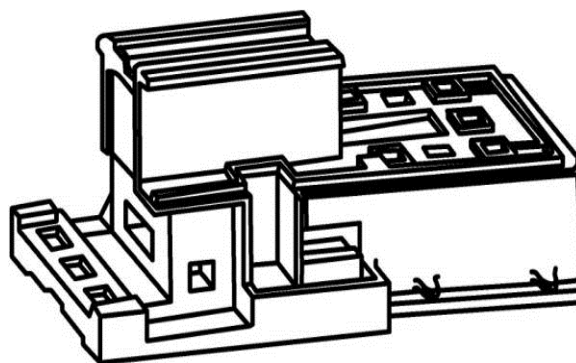


Рис. 2.38. Виливки 5-ї групи складності

ГОСТ 26645-85 на один клас точнішими);

ВР-2 – це розміри елементів виливка, що утворюються двома напівформами, а також перпендикулярні до площини рознімання форми і перетинають її (на них допуски призначають за ГОСТ 26645-85);

ВР-3 – це розміри елементів виливка, що утворюються трьома і більше частинами форми, декількома стержнями або рухомими елементами, а також товщини стінок (на них допуски призначають за ГОСТ 26645-85 на один клас грубішими).

У загальному випадку конструкція литої деталі повинна бути міцною, жорсткою, герметичною при заданій масі і точності конфігурації, а також бути технологічною, тобто раціональною, у виготовленні заготовки та механічній обробці (рис. 2.39).

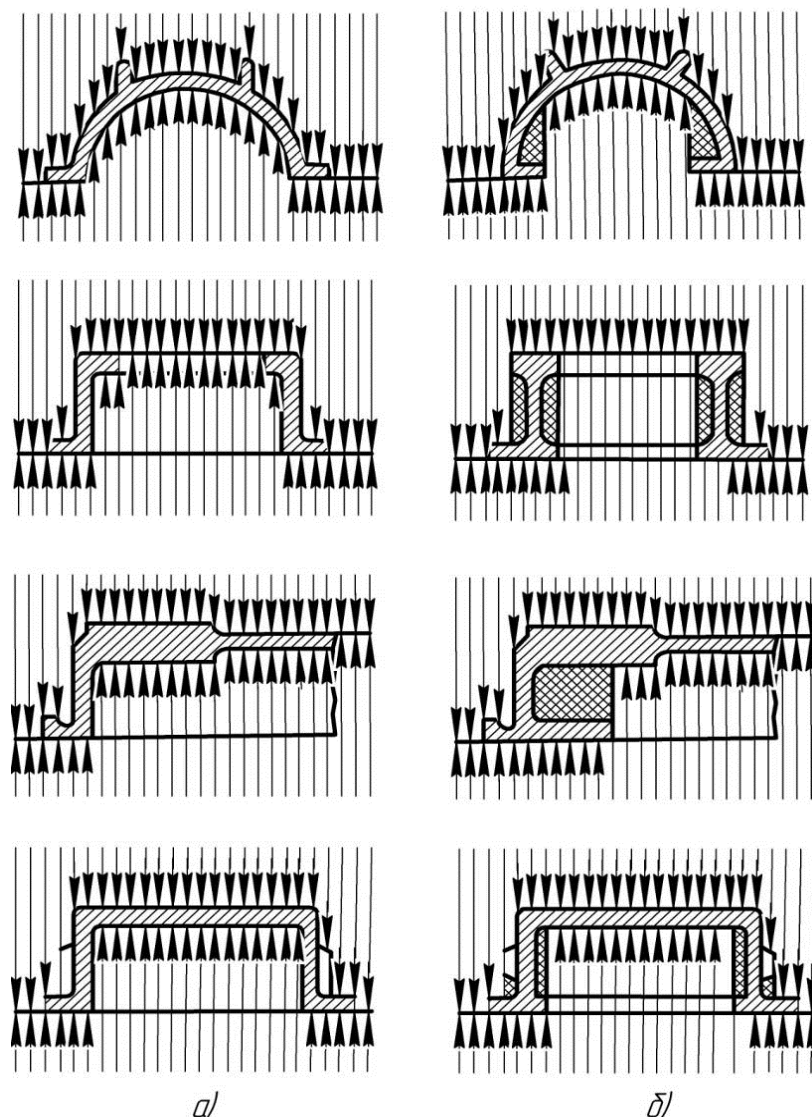


Рис. 2.39. Метод визначення технологічності виливків:
а – технологічні; б – нетехнологічні виливки

Головна особливість ливарної технології в тому, що у форму заливають розплавлений метал, в якому при твердненні проходять фазові перетворення, що супроводжуються зменшенням об'єму та утворенням усадочних дефектів – раковин, пористості, тріщин, напруг, а також, у результаті взаємодії розплаву з формою, газових раковин, пригару та інших.

Тому при конструюванні виливка необхідно враховувати різні фактори.

При виготовленні модельного комплексу необхідно намагатись зменшувати затрати праці і матеріалів. Для цього виливок повинен бути компактним, не мати виступаючих та затінених частин, представляти собою поєднання простих геометричних тіл з перевагою плоских поверхонь та прямих ліній.

Бобишки, приливи, платики необхідно виконувати так, щоб не затруднювати витягання моделі з форми (рис. 2.40, 2.41).

Необхідно передбачати усунення підрізків (рис. 2.42).

Необхідно грамотно конструювати ребра на виливках (рис. 2.43) тощо.

На рис. 2.46, наприклад, зліва показані нетехнологічні виливки, а справа – технологічні. При формуванні виливків (рис. 2.46, а) приходить виконувати складний роз'єм підрізкою, розмішувати виливки в двох опоках. Виливки на рис. 2.46, б) спрощують роз'єм форми, дозволяють формувати виливки в одній опоці.

Порожнини. Порожнини, що формуються у виливках, повинні бути простими за конфігурацією, а вікна досить великими для виводу знакових частин та вибивання стержня.

Суміжні порожнини виливка необхідно з'єднувати (отворами) для забезпечення стійкого положення стержня у формі, а також точності розмірів литої деталі (рис. 2.47, а). Застосування жеребейок (рис. 2.47, б) небажане, тому що вони не завжди зварюються з металом виливка, знижують точність, підвищують трудомісткість.

Стінки. Виливки, по можливості, повинні мати рівномірну товщину стінок, не мати гострих кутів, різких переходів від тонких стінок до товстих.

Спряження стінок різної товщини виконуються плавними переходами (рис. 2.48). Мінімальна товщина стінок для виливків з чавуну

$$S_{\min} = L/200 + 4, \text{ мм},$$

де L – довжина стінки, мм.

Для отримання високоякісних виливків перепад товщин стінок не повинен перевищувати $S/S_1 \leq 4$.

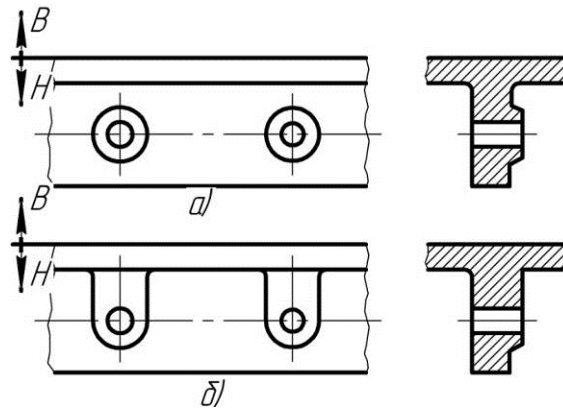


Рис. 2.40. Варіанти виконання бобишок на виливках

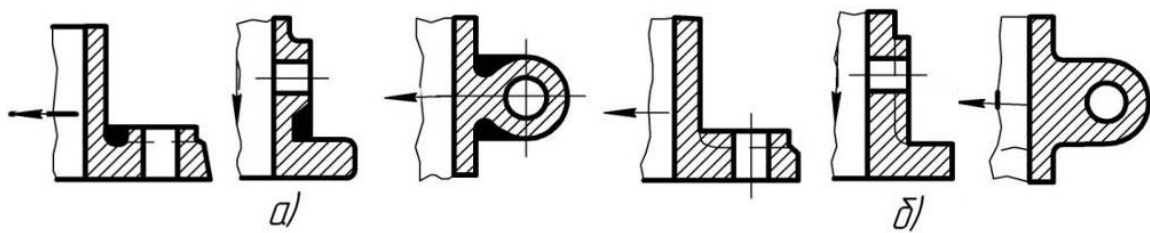


Рис. 2.41. Підрізки при формуванні бобишок

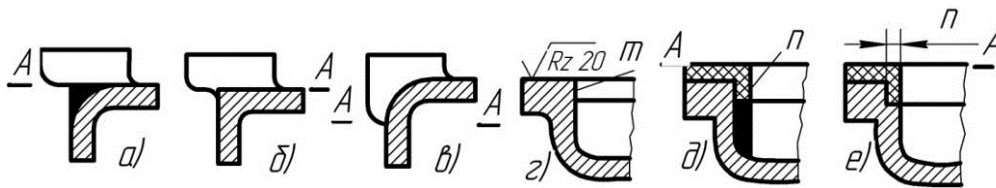
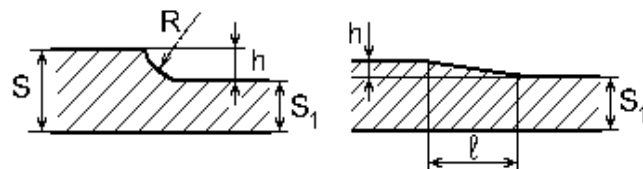


Рис. 2.42. Усунення підрізок

Переходи. Галтельні переходи від одного перерізу до іншого допустимі для усіх деталей при відношенні $S/S_1 \leq 2$.



Для чавуну, алюмінієвих і магнієвих сплавів $R = 0,3h$; для сталі та мідних сплавів $R = 0,4h$.

Для ударно і перемінно навантажених деталей при $S/S_1 > 2$ передбачають клиновий перехід.

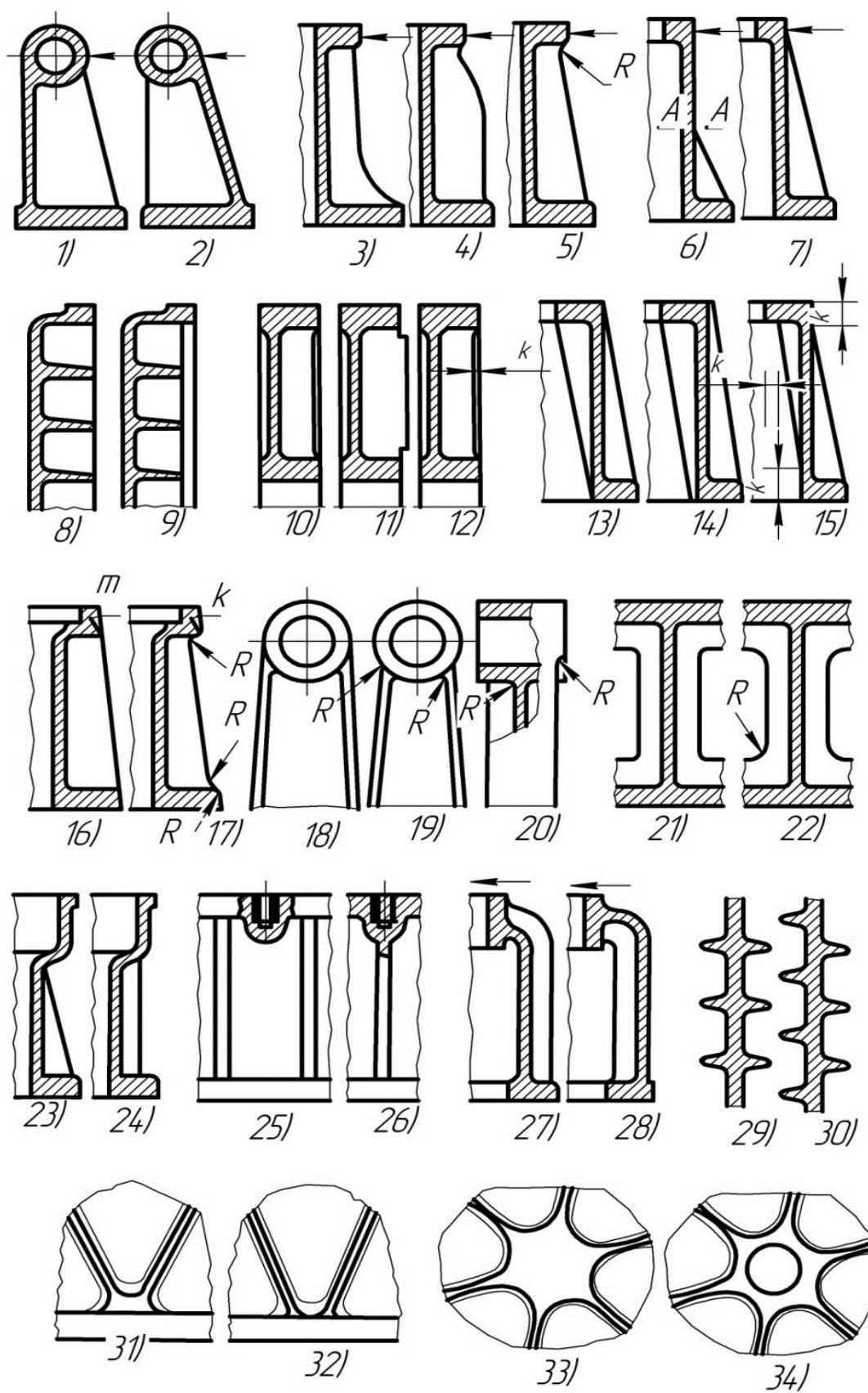


Рис. 2.43. Конструирования ребер

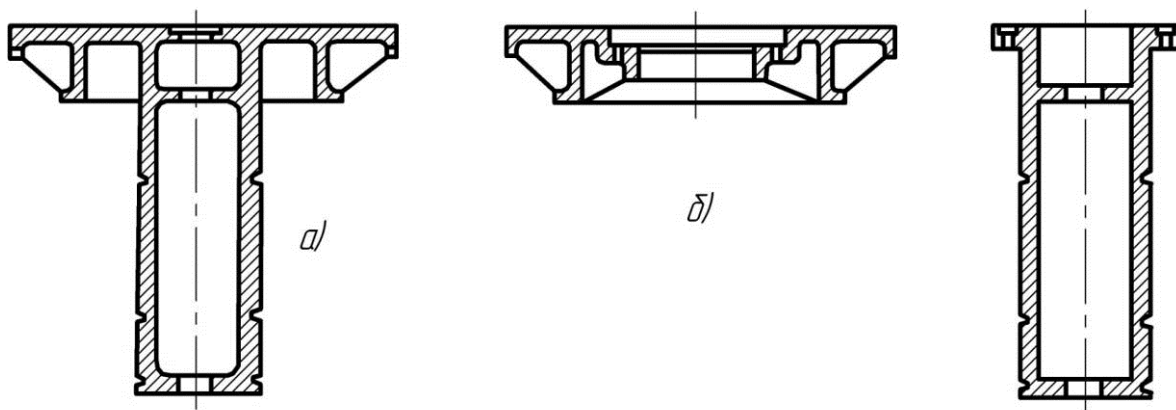


Рис. 2.44. Струшуючий стіл формувальної машини до (а) та після (б) зміни

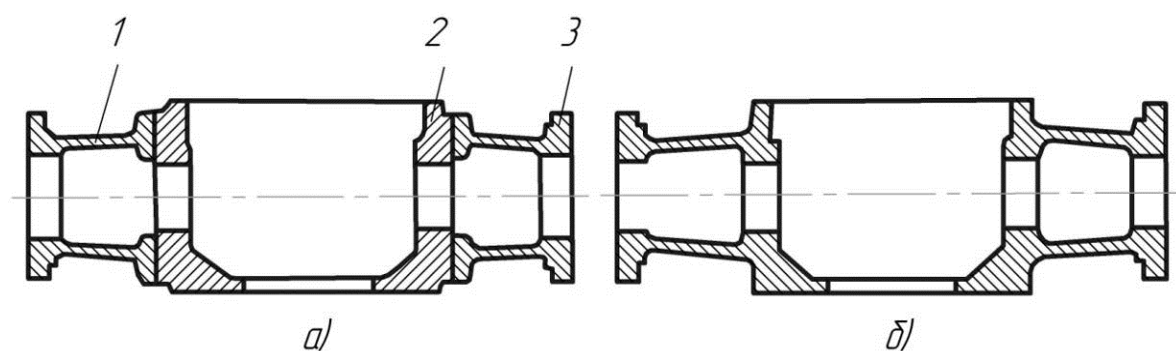


Рис. 2.7.12. Корпус поворотної головки:
до а) та після б) зміни (1, 2, 3 – окремі виливки)

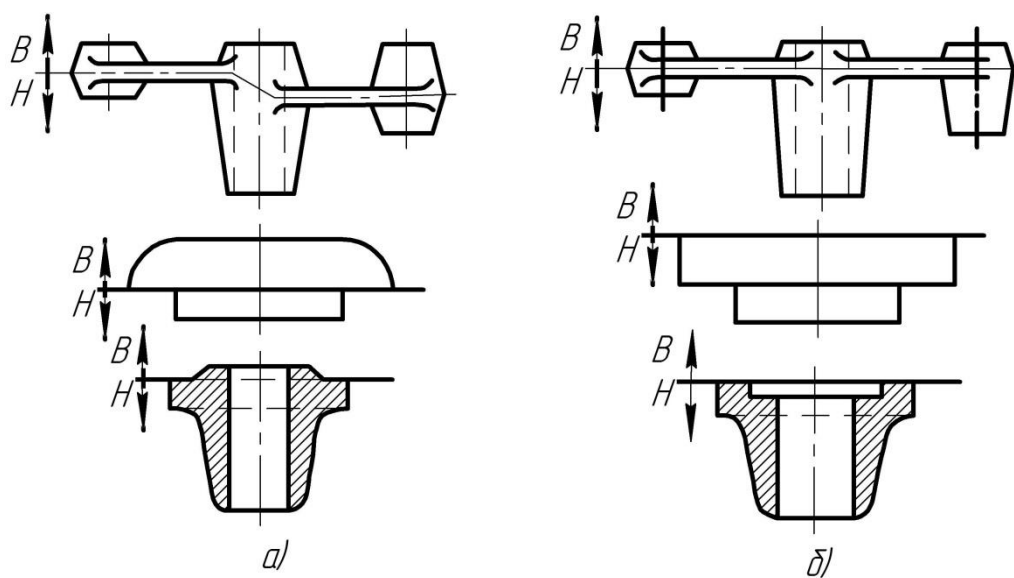


Рис. 2.46. Приклади конструкцій виливків:
а) нетехнологічні; б) технологічні

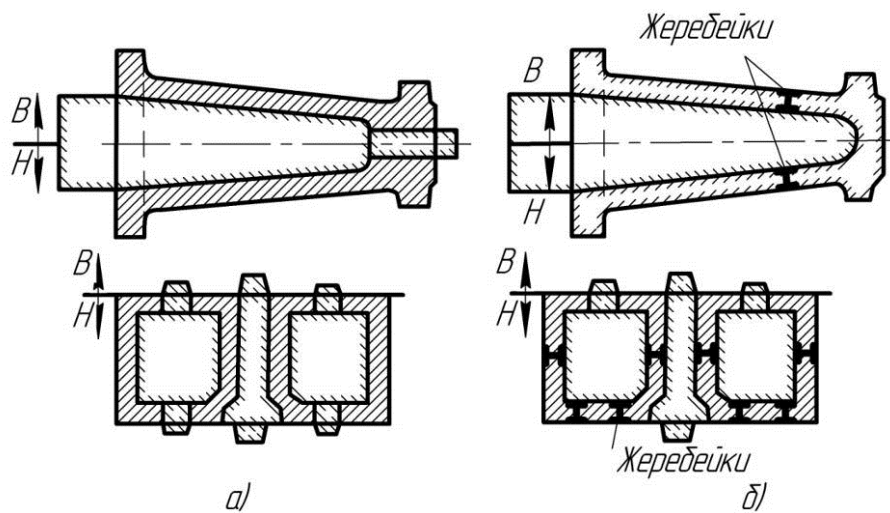


Рис. 2.47. Положення стержнів у виливках: а – правильне; б- неправильне

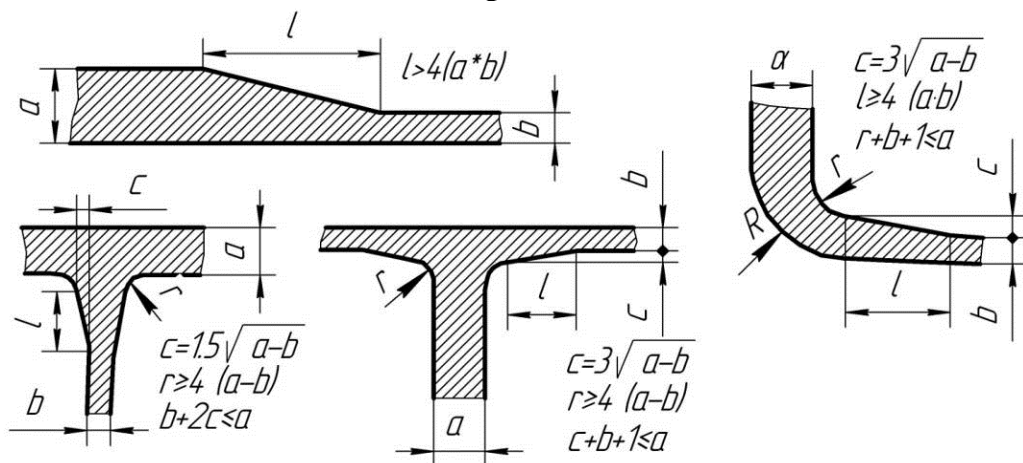


Рис. 2.48. Приклади спряження стінок різної товщини

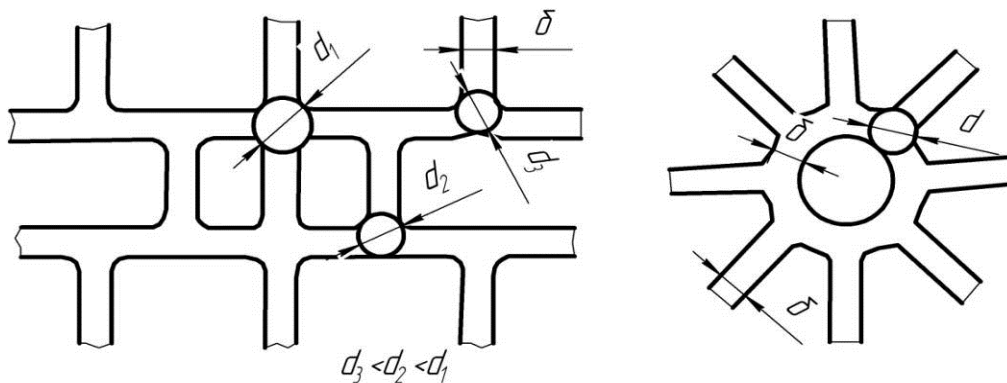


Рис. 2.49. Рекомендоване розміщення ребер жорсткості у виливках

Для чавуну, алюмінієвих і магнієвих сплавів $l \geq 4h$; для сталі та мідних сплавів $l \geq 5h$.

При пересіканні великої кількості ребер товщиною δ створюється можливість скупчення d металу, для усунення чого рекомендується розміщувати ребра на виливках, як показано на рис. 2.49. При цьому, відповідно, зменшується вірогідність утворення усадочних дефектів у цих вузлах, тому що $d_3 < d_2 < d_1$. Для економії металу маса виливка повинна бути мінімальною.

Сплави. При конструюванні виливка необхідно урахувати ливарні властивості сплавів. Сірі чавуни мають добрі ливарні властивості, але їх структура залежить від швидкості охолодження. Тому в тонких стінках одного і того ж виливка може утворюватися Fe_3C (вібільювання), а в товстих – більш м'які структури. Тобто дотримування у виливку рівномірної товщини стінок для чавунних виливків особливо важливе. Високоміцні чавуни мають достатню рідкотекучість, підвищену схильність до утворення усадочних дефектів, що необхідно урахувати при конструюванні виливків (наприклад, передбачати додатки).

Сталь має невисоку рідкотекучість, що затруднює отримання тонкостінних виливків великої протяжності. Вона має підвищену усадку, тому часто установлюють додатки, а в місцях спряження стінок різної товщини роблять спеціальні фальшиві ребра (рис. 2.50), які відводять тепло від масивних стінок і вирівнюють час охолодження. Як правило, частини виливка, котрі застигають раніше, піддаються стискуванню залишковими напруженнями, а ті, що застигають пізніше – розтягуванню.

Алюмінієві сплави мають добру рідкотекучість, але вони схильні до утворення газової та усадочної пористості, особливо в масивних вузлах. Тому виливки з алюмінієвих сплавів виконують тонкостінними з стінками однакової товщини.

Для крупних виливків зі сплавів з великою усадкою необхідно забезпечувати направлену кристалізацію виливків (рис. 2.51). Складні виливки часто доцільно розділяти на прості (рис. 2.44), які після з'єднують зварюванням або болтами, а, іноді, прості виливки замінюють складними (рис. 2.45). На рис. 2.51 показано спряження втулок з стінками виливка, на рис. 2.52 та 2.53 – спряження оброблених та чорних поверхонь.

Базові поверхні виливка повинні бути зручно розміщені для обробки різанням.

Чорною (литою) технологічною базою називають необроблену поверхню, котру використовують на перших операціях при обробці чистових баз. Її конфігурація повинна забезпечувати зручне і стійке кріплення заготовки при механічній обробці (вона, переважно, повинна

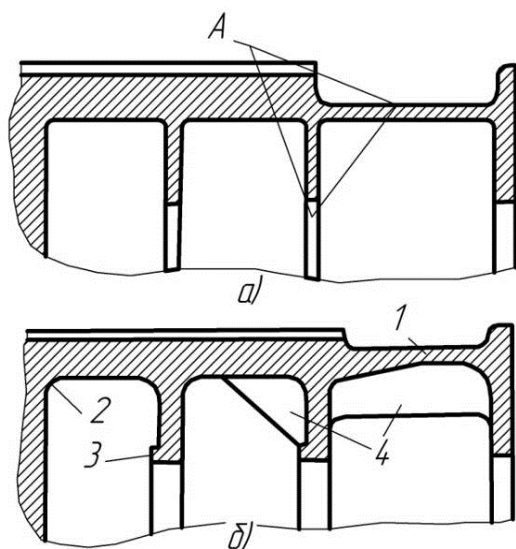


Рис. 2.50. Переріз вилівка стояка карусельного верстата:
а) та б) – відповідно до та після зміни; А – місця утворення тріщин

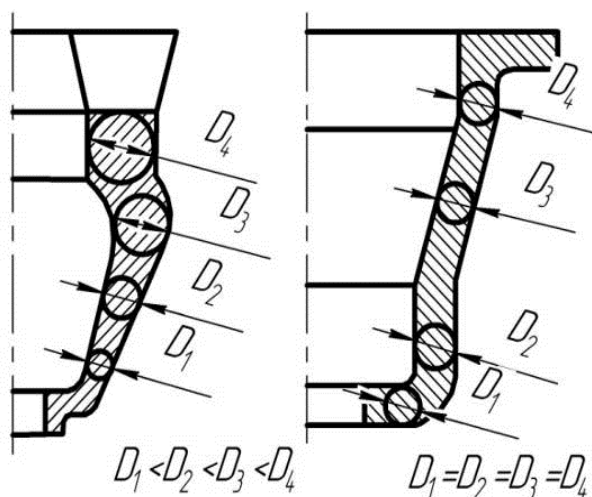


Рис. 2.51. Принципи твердіння виливків: а – послідовно-направлене;
б – рівномірне

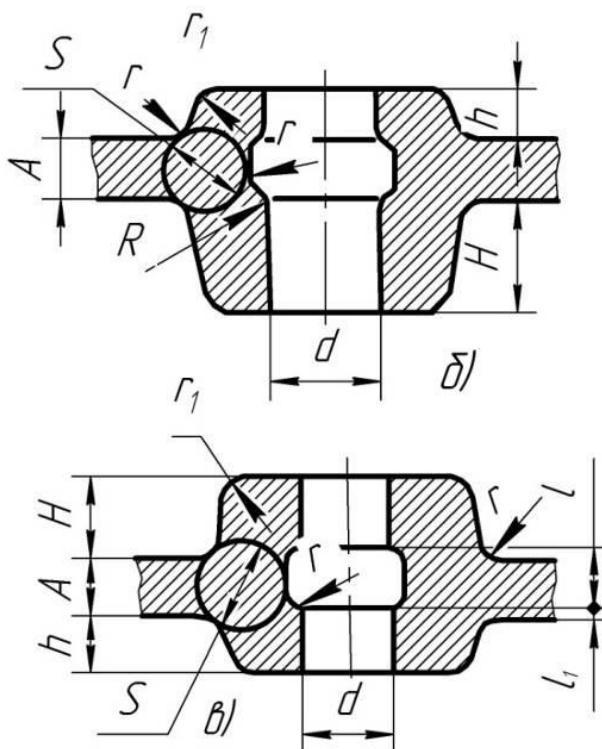
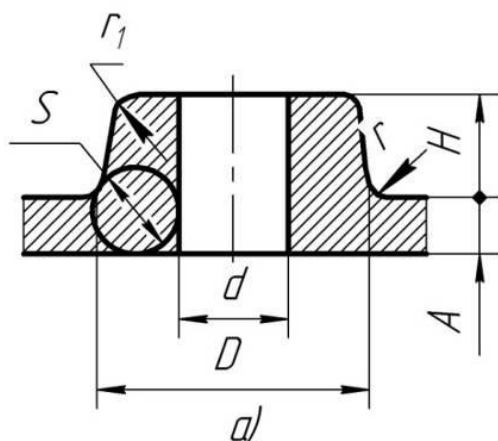


Рис. 2.51. Спряження втулок з стінками та фланцями.
Отвір: а) – оброблюваний; б) – необроблюваний з симетричним розміщенням ребра; в) - оброблюваний з несиметричним розміщенням ребра

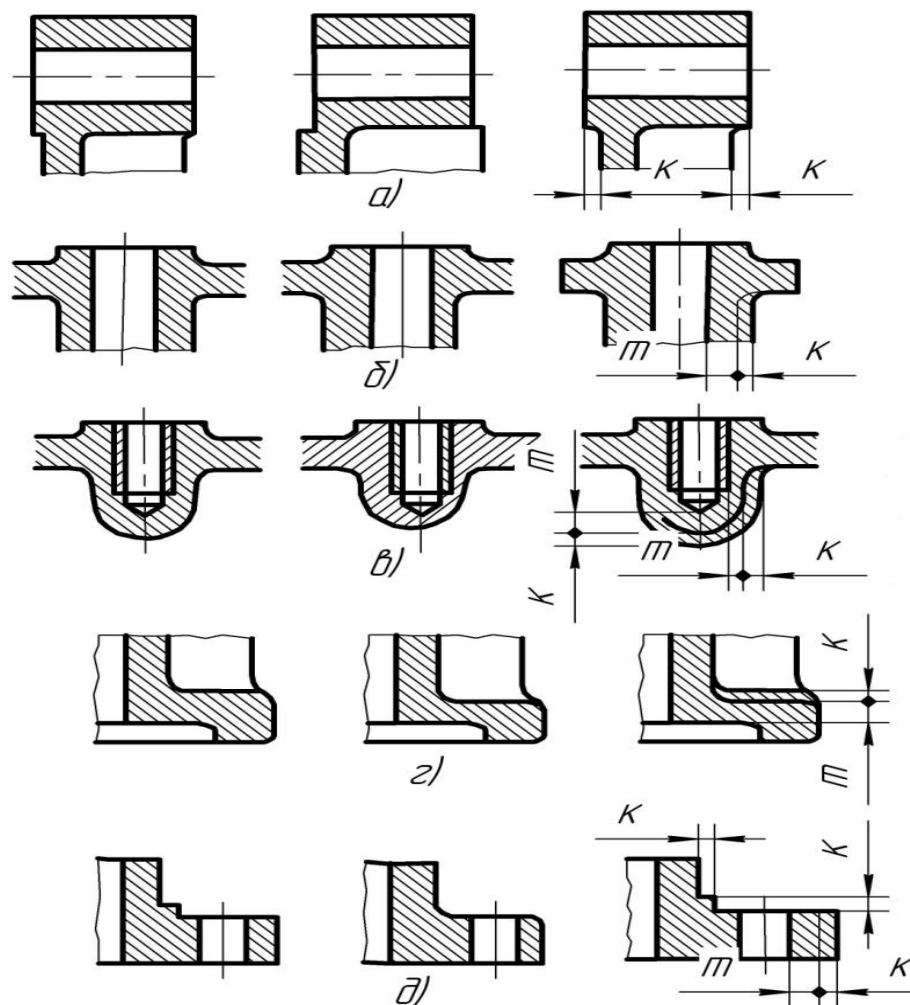


Рис. 2.52. Спряження оброблених та чорних поверхонь:
 1 – задані форми; 2 – можливі відхилення форм; 3 – форми, які враховують зміщення K литих поверхонь (m – мінімальна конструктивно-допустима товщина стінок)

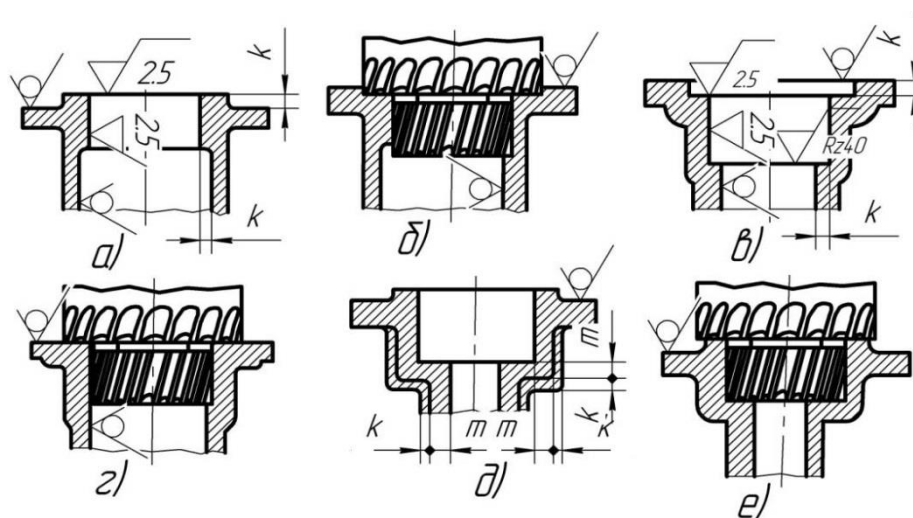


Рис. 2.53. Спряження оброблених та чорних поверхонь

бути паралельною або перпендикулярною до чистової бази). Вона повинна бути гладкою, без ливарних уклонів та слідів від площини рознімання, по можливості формуватися в одній опоці з чистою базою, не деформуватися під дією сил закріплення. Як чорнові бази не рекомендується використовувати поверхні, що будуть оброблюватися різанням.

На рис. 2.54 можливі чорнові бази позначені чорними ромбиками і від них задані координати h усіх інших литих поверхонь.

Чистова база – це оброблена поверхня, котра використовується для базування заготовки на усіх наступних операціях за виключенням перших. На рис. 2.54 вони позначені світлими ромбиками і від них задані координатні розміри деталі h_1 .

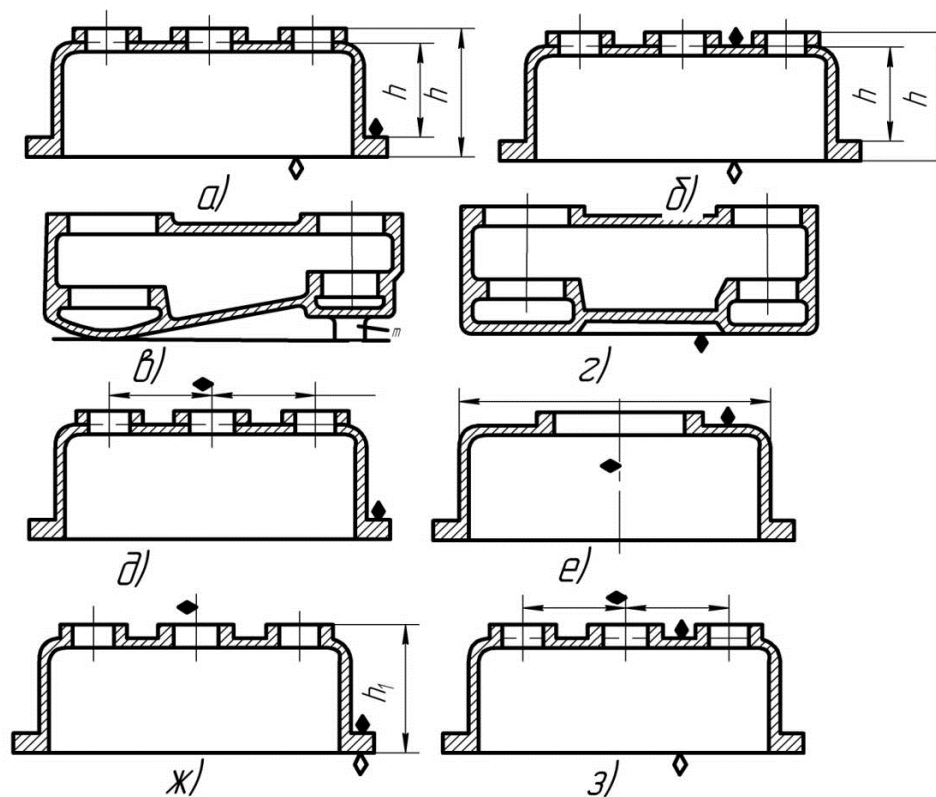


Рис. 2.54. Чорнові бази (темні ромбики) та чистові бази (світлі ромбики) при механічній обробці

Проектування технології формування

Основне завдання при проектуванні ливарної технології полягає у виборі методів виробництва, що забезпечують необхідні експлуатаційні якості литих деталей і високі техніко-економічні показники на усіх етапах виробництва, включаючи механічну обробку.

Розробка технологічного процесу (ТП) включає: вибір способу формування, визначення положення виливка та форми при заливанні, призначення поверхонь рознімання форми, конструювання та розрахунок ливникової системи, розробку креслення виливка, визначення розмірів опок, розміщення моделі на модельній плиті та інше.

Спочатку технолог-ливарник разом з конструктором вивчають конструкцію виливка і, при необхідності, поліпшують її: збільшують галтелі, вирівнюють товщину стінок, передбачають ливарні уклони тощо.

При виборі положення виливка у формі враховують наступне:

виливок у формі розміщують так, щоб при заливанні та твердненні забезпечити направлену кристалізацію металу (рис. 2.51);

оброблювані, тобто найвідповідальніші, частини виливка при заливанні і твердненні повинні бути розміщені внизу, вертикально або похило;

виливки циліндричної форми, зовнішні та внутрішні поверхні котрих оброблюються різанням, при заливанні повинні бути у вертикальному положенні або нахилені;

поверхні виливків, що служать за базу при обробці різанням, необхідно розміщувати в одній напівформі (на рис. 2.55) наведені приклади правильного розміщення форм при заливанні).

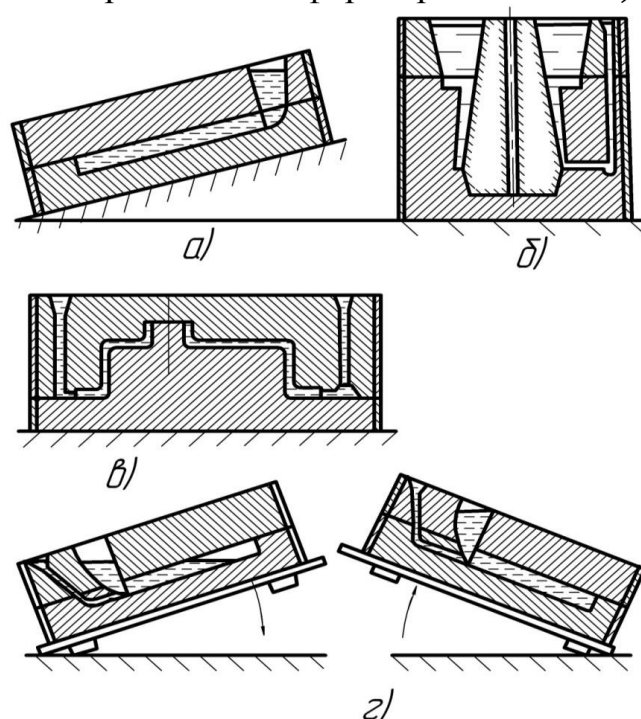


Рис. 2.55. Приклади правильного положення форми при заливанні розплаву

При визначенні поверхні рознімання форми необхідно керуватися такими положеннями (рис. 2.56):

увесь виливок, якщо дозволяє його конструкція, необхідно розмістити в одній нижній частині форми, що виключає перекося виливка;

поверхню рознімання форми при заливці бажано мати горизонтальною;

поверхня рознімання форми повинні забезпечувати вільне витягання моделі з форми та зручність при установці стержнів, а також узгодження ТП виготовлення виливка та ТП обробки різанням;

форма повинна мати мінімальну кількість стержнів по можливості простої конфігурації або взагалі не мати їх, необхідно застосовувати піщані болвани;

вибраний роз'єм форми повинен забезпечувати зручність при ущільненні та складанні форми, надійність установлення стержнів і можливість контролю їх при установці у форму;

при формуванні в ґрунті основні частини виливка повинні розміщуватися тільки в нижній частині форми.

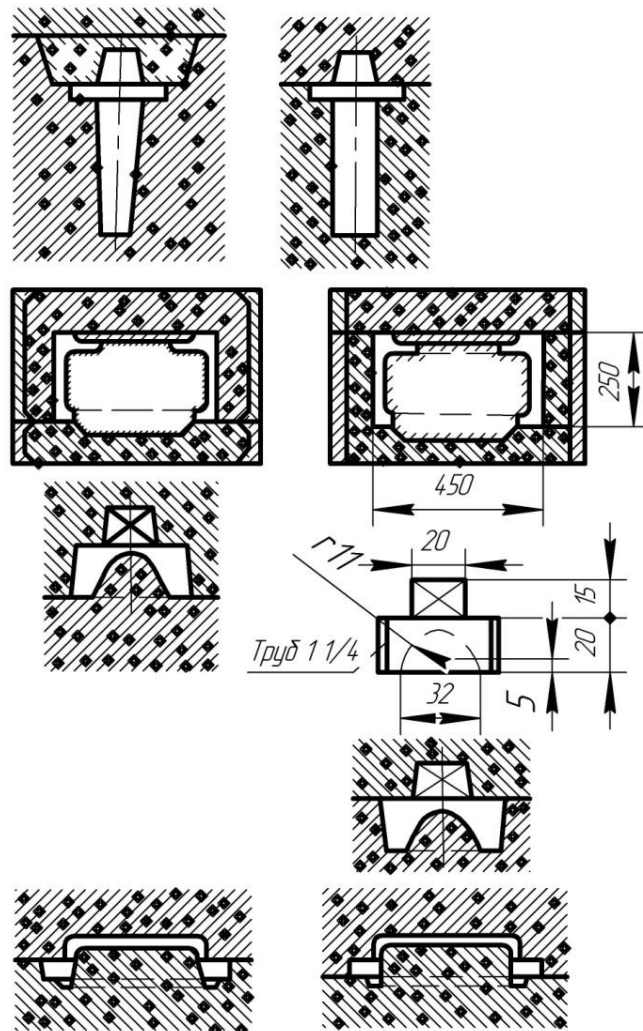


Рис. 2.56. Приклади правильного (а) та неправильного (б) вибору площини рознімання форми

При машинному формуванні поверхня рознімання форми визначається також типом формувальної машини. Як правило, вона повинна бути плоскою. Виступаючі частини форми (болвани) не повинні бути високими, щоб не обвалилася форма. Практикою установлені такі співвідношення розмірів болванів для форм (рис. 2.57): нижніх – $H \leq D$, та верхніх $H \leq 0,3D$.

При ручному формуванні ці співвідношення зменшуються до 50 %. При більших співвідношеннях H/D застосовують стержні. Якщо стержні мають тонкі шийки, то їх розділяють на частини, щоб вони не ламались. Розділення складних стержнів на частини дозволяє застосовувати машинний спосіб їх виготовлення з наступним склеюванням або складанням стержня. Крупні стержні роблять порожнистими.

При розрахунку розмірів опок необхідно урахувати наступне: товщина шару ФС навколо виливка (відстань від краю виливка до опоки) береться для дрібних виливків – 30-50 мм, середніх – 50-100 мм, великих – 100-150 мм;

відстань від стержньового знака до стінки опоки – 40-50 мм;

відстань від моделі до нижньої або верхньої площини опоки дорівнює для дрібних виливків: 40-60 мм, середніх - 60-120 мм, великих-100-150 мм.

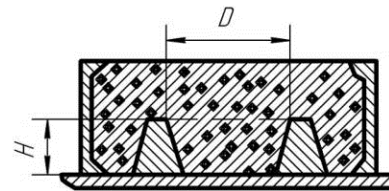
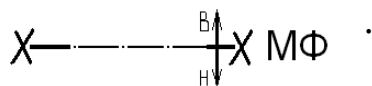


Рис. 2.57. До визначення розмірів болванів

Розробка креслення виливка

У ВСВ та МВ за ГОСТ 3.1125-88 розробляють спеціальне креслення виливка, а в ОВ та МСВ на кресленні деталі указують поверхню рознімання моделі та форми, положення виливка при заливці розплаву, уклони, припуски на обробку різанням, положення стержнів і їх знаки та розміри, від'ємні частини моделі, додатки, ливники, випори, приливи та холодильники.

Роз'єм моделі та форми позначають на кресленні деталі в усіх проекціях короткою товстою лінією —X, та літерами МФ (модель–форма):



Положення виливка при заливці форми відмічають основною лінією з стрілками, а біля лінії рознімання указують верх – В, та низ – Н. Якщо модель нерознімна, то указують тільки роз'єм форми – Ф.

При відсутності конструктивних уклонів на деталі, технолог-ливарник указує на кресленні деталі з технологічними вказівками формувальні

уклони, котрі столяр-модельник повинен виконати за ГОСТ 3212-92 [19] або за табл. 2.7.1.

У залежності від вимог, що пред'являються до виливка (до його поверхонь), формувальні уклони виконують на оброблюваних поверхнях виливка поверх припуску на обробку різанням шляхом збільшення розміру виливка (рис. 2.58, а); на необроблюваних поверхнях, які не спряжуються з іншими, шляхом збільшення або зменшення розмірів виливка (рис. 2.58, б); на необроблюваних, але спряжуваних з іншими (по контуру або торцю) поверхнях – шляхом зменшення (рис. 2.58, в), або збільшення (рис. 2.58, г) розмірів виливка у залежності від площини спряження.

Формувальні уклони (ФУ) моделей для піщано-глинистих форм знаходяться в межах від 0°30' до 4° у залежності від способу формування, вони зовнішні чи внутрішні, довгі чи короткі тощо.

Формувальні уклони на торцях циліндричних моделей, площина рознімання котрих співпадає з віссю циліндра, виконують у 1,5 рази більшими, ніж указано в табл. 2.8. ФУ у стержньових ящиках виконують рівними з ФУ на моделях, щоб товщина стінки виливка збереглась незмінною.

При призначенні внутрішніх (галтелі) і зовнішніх радіусів закруглень, необхідно заокруглення виконувати з одного центра, якщо спряжувані стінки однакової товщини (для внутрішніх і зовнішніх радіусів). Внутрішні радіуси закруглень при спряженні стінок різної товщини для виливкі товщиною стінок 6...20 мм і відношенням $S/S_1 \leq 3$ приймають в межах 8...15 мм.

У загальному випадку для виливків з сірого чавуну рекомендуються такі радіуси закруглень: 1, 2, 3, 5, 8, 12, 16, 20, 25, 32, 40 мм, при цьому радіуси вибирають у межах $\frac{1}{5} - \frac{1}{3}$ від середнього арифметичного значення товщини спряжуваних стінок.

Припуски в ливарних моделях на усадку сплавів модельник виконує у відповідності з вказівками на кресленні (на кресленні деталі технолог-ливарник повинен указати усадку в %).

У ВСВ та МВ при розробці креслення виливка та креслень моделей і стержньових ящиків технолог-ливарник урахує усадку сплавів при визначенні розмірів моделей та ящиків. Лінійну усадку у відсотках визначають за формулою:

$$\varepsilon_{\text{л}} = (\ell_{\text{мод}} - \ell_{\text{вил}}) / \ell_{\text{вил}} \cdot 100\%,$$

де $\ell_{\text{мод}}$ та $\ell_{\text{вил}}$ – лінійні розміри моделі та виливка за кресленнями.

Значення лінійної усадки ливарних сплавів наведені в табл. 2.9.

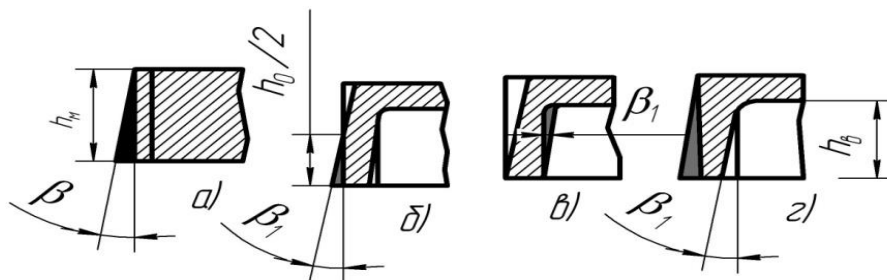
Конструкція литий деталі повинна забезпечувати спрямоване затвердіння відливання і бути технологічною.

Таблиця 2.8

**Формувальні уклони β на формоутворюючих поверхнях
модельних комплектів**

Висота основної формоутво- рюючої поверхні h , мм	Для форм з піщано-глинистих сумішей				Для сумішей, які твердіють у контакті з оснасткою		
	Металеві та пластмасові комплекти		Дерев'яні комплекти		Металеві комплекти для оболонкових форм	Металеві, пластмасові комплекти	Дерев'яні комплекти
	Зовні- шні	У заглибина- х при $d > h^*$	Зовні- шні	У заглибина- х при $d > h$			
≤ 10	2°17'	4°34'	2°54'	5°45'	1°43'	3°26'	4°00'
> 10-18	1°36'	3°11'	1°54'	3°49'	1°16'	2°32'	2°52'
> 18-30	1°09'	2°40'	1°31'	3°03'	0°57'	1°54'	2°17'
> 30-50	0°48'	1°42'	1°02'	2°05'	0°41'	1°16'	1°29'
> 50-80	0°34'	1°13'	0°43'	1°26'	0°30'	0°54'	1°04'
> 80-120	0°26'	0°54'	0°32'	1°03'	0°23'	0°40'	0°46'
> 120-180	0°19'	0°38'	0°23'	0°46'	0°17'	0°29'	0°34'
> 180-250	0°19'	0°37'	0°22'	0°44'	0°14'	0°28'	0°33'
> 250-315	0°18'	0°37'	0°22'	0°43'	0°14'	0°27'	0°33'
> 314-400	0°17'	0°36'	0°21'	0°46'	-	0°26'	0°32'
> 400-500	0°17'	0°35'	0°19'	0°38'	-	0°26'	0°31'
> 500-630	0°16'	0°33'	0°19'	0°38'	-	0°24'	0°29'

* d – найменша ширина заглибини на формоутворюючій поверхні



**Рис. 2.58. Варіанти виконання уклонів на поверхнях модельних
комплектів**

Однак усадка виливка відрізняється від усадки сплавів. Найбільшу усадку мають виливки простої конфігурації, тому що у них нема перешкод для усадки. Фактичну усадку виливка з урахуванням гальмування з боку форми, стержнів, нерівномірності стінок та охолодження називають ливарною і її визначають експериментально.

Таблиця 2.9

Значення лінійної усадки ливарних сплавів, %

Чавун		Бронза	
сірий	0,6-1,3	олов'яна	1,4-1,6
білий	1,6-2,3	алюмінієва	1,5-2,4
ковкий перлітний	1,2-2,0	Латунь	
ковкий феритний	1,0-1,2	цинкова	1,5-2,2
аустенітний	1,3-2,0	кремниста	1,6-1,8
чугаль (18-25 % Al).....	2,4-2,7	Сплави	
Сталь		силумін (5-14 % Si)	1,0-1,2
вуглецева (0,14-0,75 % C).....	1,5-2,0	алюмінієві	1,0-2,0
марганцевиста (10-14 % Mn).....	2,5-3,8	магнієві	1,1-1,9
жаростійка	1,8-2,2	цинкові	1,0-1,5

Припуски на обробку різанням наносять на кресленні деталі суцільними тонкими лініями і штрихують тільки в площині розрізу. Перед знаками шорсткості оброблених поверхонь деталі указують величину припуску на обробку різанням, що залежить від ряду факторів і визначається за ГОСТ 26645-85 [14]. Для верхньої частини виливка призначають припуски більшими ніж для нижньої, тому що там скупчуються шлаки та газові раковини.

Орієнтовні значення припусків на обробку виливків різанням наведені в табл. 2.10, 2.11 та 2.12.

При масовому виробництві виливків з сірого чавуну литтям отримують отвори діаметром понад 20 мм, при серійному – понад 30 мм, при одиничному – понад 50 мм.

Місця установлення стержнів визначають за кресленням деталі, призначають їх конструкцію, а також розміри знаків і зазори за ГОСТ 3606-80. Контури стержнів наносяться на креслення деталі тонкими суцільними лініями. Стержні в розрізі штрихують тільки біля контурних ліній. Зазори між знаками форми та стержнів указують тільки у випадку відхилення від стандартних значень. Місця спряження стержнів один за одним позначають на кресленні товстою або подвійною тонкою лінією. Номер стержня повинен відповідати порядковому номеру його установки у формі (номер стержня проставляють у центрі, напр. ст. 5). Конструкція литий деталі повинна забезпечувати спрямоване затвердіння відливання і бути технологічною.

Таблиця 2.10

Орієнтовні значення припусків (мм) на обробку різанням виливків з сірого чавуну 1-16 класів точності (ГОСТ 26645-85)

Габаритний розмір, мм	Положення поверхні при заливанні	Номинальний розмір, мм*							
		50		50-120			120-260		
		1-6	7т-11	1-6	7т-11	12-16	1-6	7т-11	12-16
120	Верх	2,5	3,5	2,5	4,0	4,5	-	-	-
	Низ, бік	2,0	2,5	2,0	3,0	3,5	-	-	-
121-260	Верх	2,5	4,0	3,0	4,5	5,0	3,0	5,0	5,5
	Низ, бік	2,0	3,0	2,5	3,5	4,0	2,5	4,0	4,5
261-500	Верх	3,5	4,5	3,5	5,0	6,0	4,0	6,0	7,0
	Низ, бік	2,5	3,5	3,0	4,0	4,5	3,5	4,5	5,0
501-800	Верх	4,5	5,0	4,5	6,0	7,0	5,0	6,5	7,0
	Низ, бік	3,5	4,0	3,5	4,5	5,0	4,0	4,5	5,0
801-1250	Верх	5,0	6,0	5,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0
	Низ, бік	3,5	4,0	4,0	5,0	5,5	4,5	5,0	6,0
1251-2000	Верх	5,5	7,0	6,0	7,5	8,0	6,5	8,0	8,0
	Низ, бік	4,0	4,5	4,5	5,0	6,0	4,5	5,5	6,0

* Під номінальним розміром розуміють найбільшу віддаля між протилежними оброблюваними поверхнями або відстань від базової поверхні або осі (вилівка, деталі) до оброблюваної поверхні

Таблиця 2.11

Орієнтовні значення припусків (мм) на обробку різанням виливків з сталі 1-16 класів точності (ГОСТ 26645-85)

Габаритний розмір, мм	Положення поверхні при заливанні	Номинальний розмір, мм*								
		120			120-260			260-500		
		1-6	7т-11	12-16	1-6	7т-11	12-16	1-6	7т-11	12-16
120	Верх	3,5	4,5	5,0	-	-	-	-	-	-
	Низ, бік	3,0	4,0	4,0	-	-	-	-	-	-
121-260	Верх	4,0	5,0	5,0	4,0	6,0	6,0	-	-	-
	Низ, бік	3,0	4,0	4,0	3,5	4,0	4,5	-	-	-
261-500	Верх	5,0	6,0	6,0	5,0	7,0	8,0	6,0	7,0	8,0
	Низ, бік	3,0	5,0	5,0	4,0	5,0	6,0	4,0	6,0	6,0
501-800	Верх	5,0	7,0	7,0	6,0	8,0	8,0	7,0	9,0	10
	Низ, бік	4,0	5,0	5,0	4,5	6,0	6,0	5,5	6,0	7,0
801-1250	Верх	7,0	8,0	9,0	7,0	9,0	10,0	8,0	10,0	11,0
	Низ, бік	5,0	6,0	6,0	5,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0
1251-2000	Верх	8,0	9,0	10,0	11,0	9,0	12,0	9,0	10,0	12,0
	Низ, бік	6,0	7,0	7,0	6,0	7,0	8,0	6,0	8,0	9,0

* Під номінальним розміром розуміють найбільшу віддаля між протилежними оброблюваними поверхнями або відстань від базової поверхні або осі (вилівка, деталі) до оброблюваної поверхні

Таблиця 2.12

Орієнтовні значення припусків (мм) на обробку різанням виливків з кольорових сплавів*

Габаритний розмір, мм	Виробництво					
	масове		серійне		одиничне	
	Виливки					
	прості	складні	прості	складні	прості	складні
200	2	2	2	3	3	4
201-300	2	2	2	4	4	5
301-500	3	3	3	5	5	6
501-800	3	4	4	5	5	7
801-1200	4	5	5	6	6	8
1201-1800	4	5	5	7	7	9
* Бронза, латунь, силумін						

Однакові стержні позначають: ст. 1а, ст. 1б і т. д. Напрямок набивання стержня позначають стрілкою $\downarrow$, а площину рознімання стержньового ящика – стрілкою виду $\nabla \nabla$.

Точність установлення стержнів у формі визначається точністю та конфігурацією їх знаків (контрольними знаками), котрі призначають за ГОСТ 3606-80 з урахуванням розміру стержня, способу формування і положення стержня у формі (рис. 2.59, 2.60, 2.61).

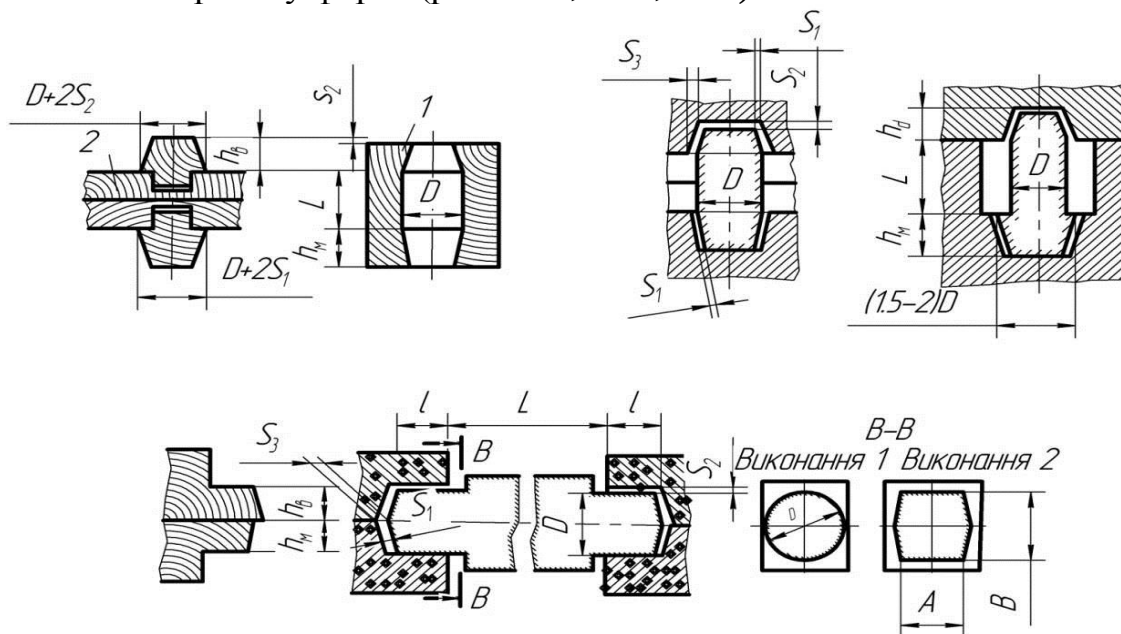


Рис. 2.59. Розміри вертикальних та горизонтальних знаків стержнів:

а – знакові частини моделі; б – ящик; в) та г) – зазори у формі для вертикальних стержнів; д – для горизонтальних стержнів; 1 – стержньовий ящик; 2 – модель

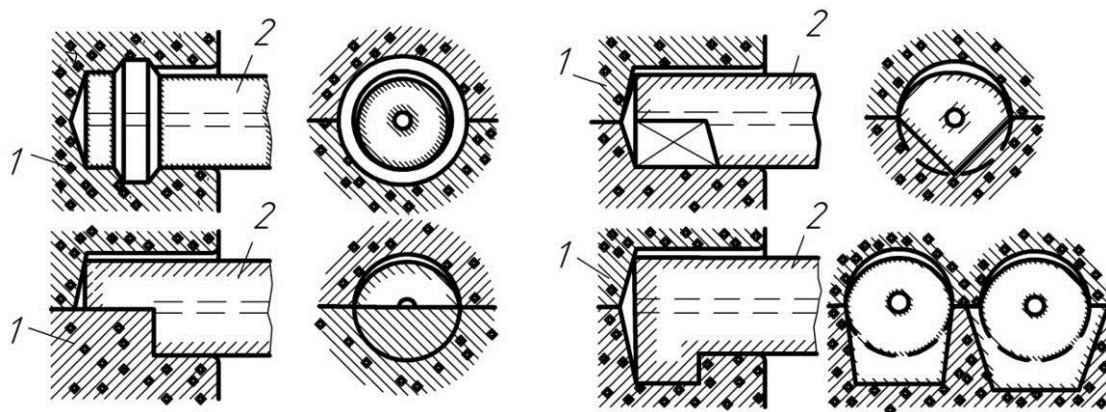


Рис. 2.60. Контрольні знаки, які запобігають:

а – осьовому зміщенню; б) та в) – обертанню; г – осьовому зміщенню та обертанню; 1 – форма; 2 – стержень

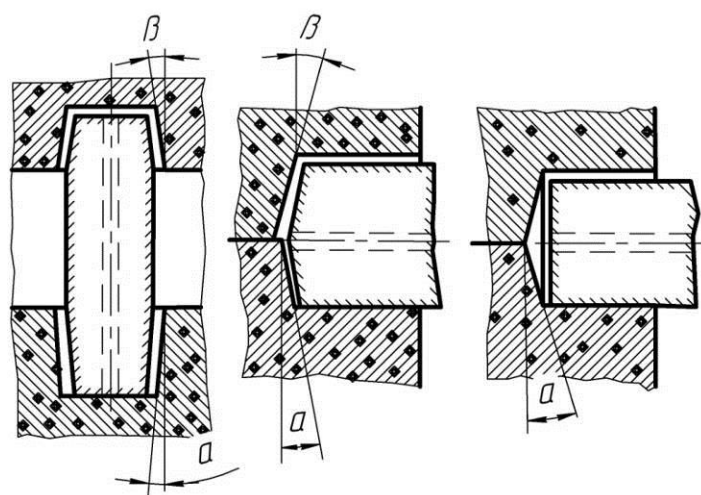


Рис. 2.61. Уклони знаків стержнів

Зазори між знаками форм і стержнів указують на технологічному кресленні для правильної установки стержнів у форму. При дуже малих зазорах або без них неможливо зібрати форму без її пошкодження. Збільшені зазори понижують точність, з'являються заливи металу, метал може проникати в газовідвідні канали стержнів, що приводить до виникнення газових раковин у виливка

Ливникову систему, додатки та випори, прилиті проби, фальшиві ребра, холодильники викреслюють суцільною тонкою лінією (допускається червоним кольором) з указанням розмірів за ГОСТ 3.1125-88.

Всі вищевикладені правила дуже важливі і повинні обов'язково виконуватися при конструюванні і виготовленні литих деталей. При цьому необхідно враховувати особливості деталі й способу лиття.

Технологічна документація при виготовленні виливків

Основний документ – технологічна карта (ГОСТ 3.1401-74), в котрій записаний ТП, режими, методика та порядок виконання усіх операцій при виготовленні виливків.

В операційній технологічній карті указують найменування деталі, тип формувальної машини, кількість деталей на виріб, масу виливка та деталі, їх матеріал, спосіб формування (по-сирому, по-сухому, з стержнями чи без стержнів), кількість виливків у формі тощо. Там же коротко описуються основні операції (формування, складання форми, виготовлення та сушіння стержнів, заливання металу у форми, вибивання виливків з форм, обламування або відрізування ливників та додатків, вибивання стержнів з виливків, очищення виливка, контроль).

У картах також указують обладнання, основний та допоміжний інструмент, норму виробітку за зміну, розряд робітника, кількість робітників, погодинну тарифну ставку і розцінки за один вилівок.

Технічна документація включає також креслення деталі з технологічними вказівками або виливка, модельного комплекту, форми в зборі.

На рис. 2.62 приведено креслення елементів ливарної форми з припусками на обробку різанням, указаною поверхнею рознімання моделі, форми, формувальними уклонами. На модельних плитах (рис. 2.63) з моделями виливка шків закріплені також моделі ливникової системи. Стержень для утворення канавки в ободі шків виготовляють за допомогою металевого стержньового ящика (рис. 2.64), що складається з двох частин, які центруються штирем. На рис. 2.65 показана форма в зборі і перерізи елементів ливникової системи. У СВ та МВ за ГОСТ 3.1125-88 розробляють окреме креслення виливка (рис. 2.66).

Заливання форм, оздоблення виливків

Чавун плавлять у вагранках, електричних та полумєневих печах. Після доведення чавуну за складом і температурою до 1450-1550° С його випускають у ковш, транспортують та заливають у форми.

У ливарних цехах для плавлення сталі застосовують мартєнівські печі, дугові та індукційні електропечі. Температура факела в мартєнівських печах – 1800-1900° С.

Заливні ковші за конструкцією бувають (рис. 2.31) з носиком, чайникові, барабанні і стопорні. Для заливання чавуну частіше застосовують ковші з носиком, чайникові або ковші з перегородкою, а для заливання середніх та великих виливків з сталі – стопорні ковші. У чайникових та стопорних ковшах шлак затримується краще, ніж у звичайних ковшах з носиком або барабанних.

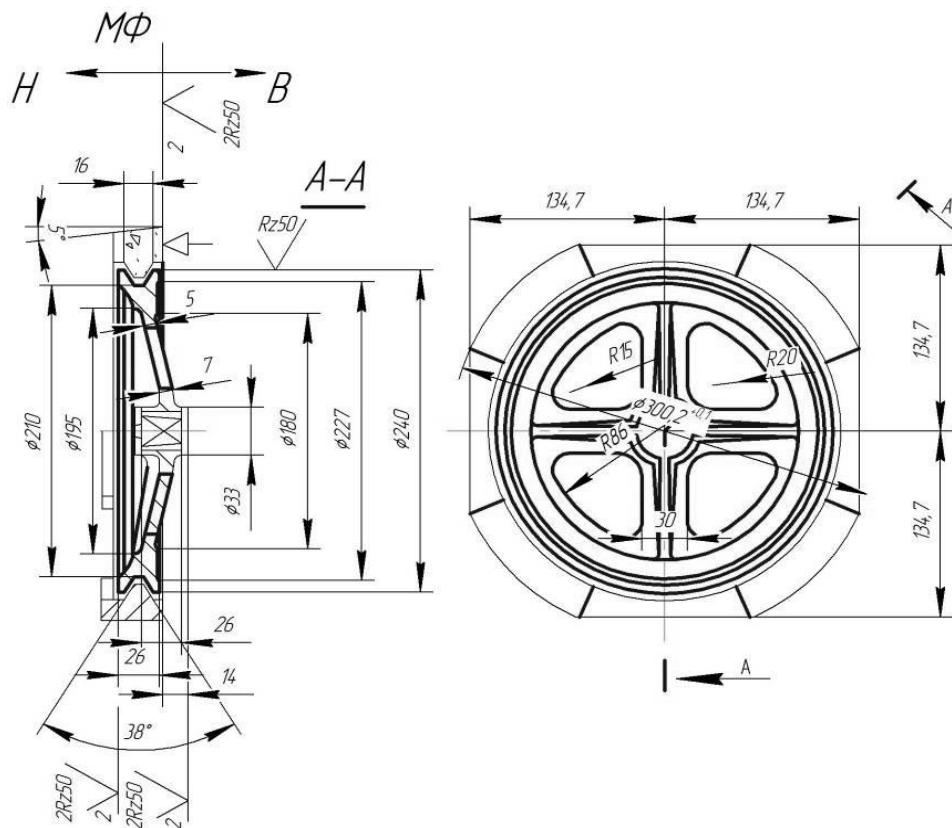


Рис. 2.62. Приклади виконання креслення елементів ливарної форми для деталі „Шків компресора”

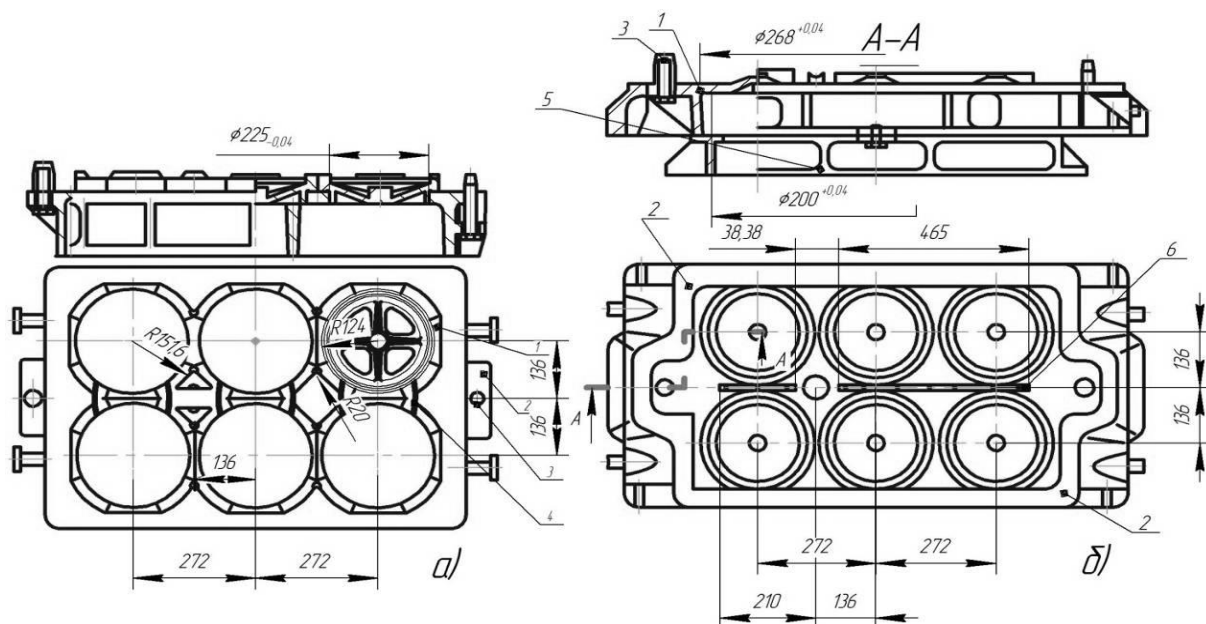


Рис. 2.63. Модельні плити для виготовлення виливків шківів:
а – нижня; б – верхня; 1 – модель; 2 – плита; 3 – центруючий штир;
4 – модель живильників; 5 – плита; 6 – модель шлаковловлювача

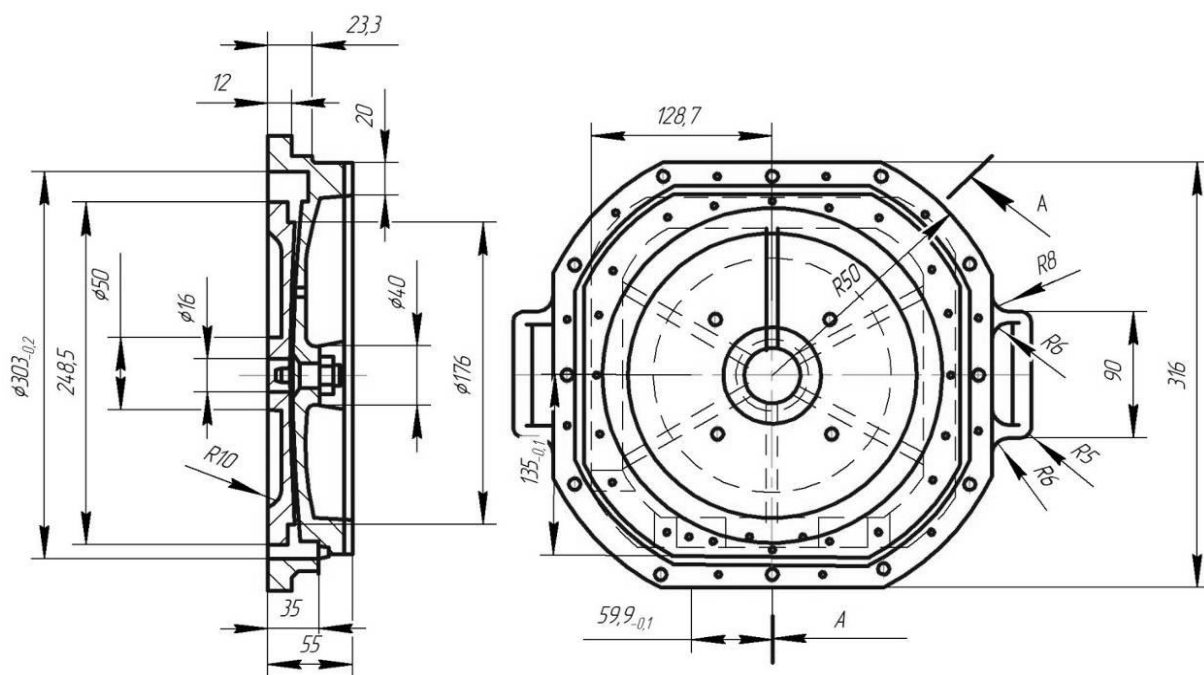


Рис. 2.64. Стержньовий ящик для виливка шків

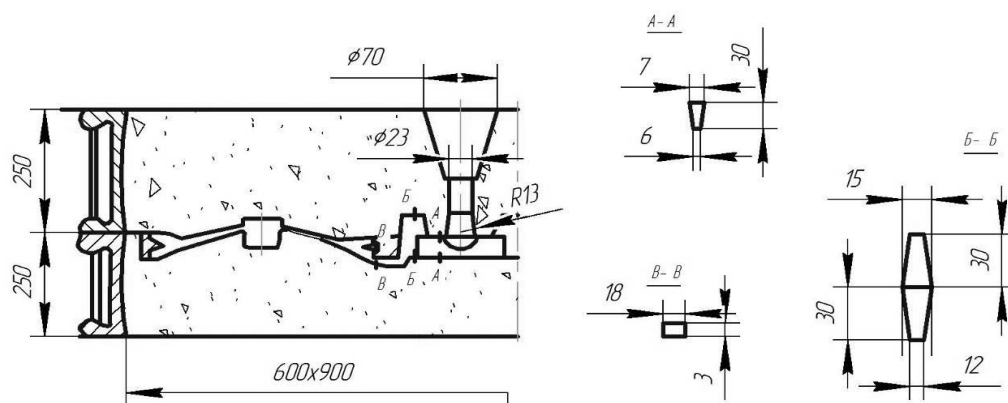


Рис. 2.65. Форма для виливка шків

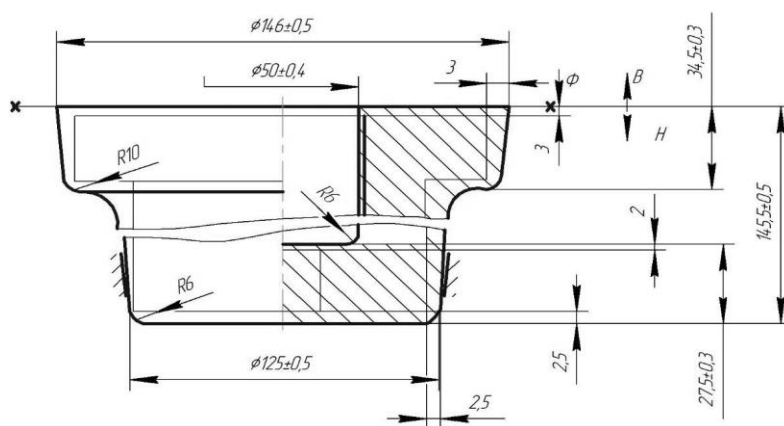


Рис. 2.66. Креслення виливка з сірого чавуну

Після заливання форм виливки тверднуть і охолоджуються. Чавунні тонкостінні виливки вибивають при 400° С, середньої складності – при 500° С і товстостінні – при 600° С.

Виливки з вуглецевої сталі рекомендується вибивати при таких температурах:

- ~880° С – невідповідальні, простої конфігурації, без утрудненої усадки;
- ~600° С – з нерівномірною товщиною стінок та термічними вузлами;
- ~200° С – відповідальні, з утрудненою усадкою, схильні до жолоблення та тріщин.

ТП очистки виливків включає такі операції: видалення стержнів з виливків; видалення ливників, випорів та додатків; очищення від пригорілої формової суміші; видалення облою та окалини після термообробки; іноді випрямлення виливків після термообробки і їх фарбування; остаточний контроль якості виливків після очищення та обробування.

Стержні, у залежності від вторинної міцності, вибивають на вибивних ґратах при відділенні виливка від формової суміші, при очищенні виливків у дробометальних установках, а крупні міцні стержні з синтетичних смол – на вібраційних або водоструминних вибивальних установках з тиском струменя 10-20 МПа.

Ливники відрізають ножівковими полотнами, стрічковими та фрикційними дисковими пилами, обрубкуванням на гідравлічних, фрикційних або кривошипних пресах, анодно-механічним різанням, абразивними кругами. Для сталевих виливків широко застосовують газове, електродугове та плазмове різання, обрубкування відбійними молотками тощо.

Для очищення виливків від пригорілого піску та окалини застосовують обертові барабани періодичної дії (галтувальні), барабани безперервної дії (для очищення та відбивання ливників невеликих виливків), які нахилені до горизонту під кутом 1,5-2°, дробоструминне очищення (дріб Ø 0,8-2,5 мм подається на виліток повітряним струменем зі швидкістю 20-30 м/с), дробометальні установки (дріб викидається лопатками зі швидкістю приблизно 80 м/с при частоті обертання кидальної головки 2250 хв⁻¹), водоструминне та гідроабразивне очищення.

Термічна обробка виливків

Її проводять для зниження ливарних напруг, стабілізації форми, зниження твердості, поліпшення оброблюваності, підвищення механічних властивостей та зносостійкості. Для чавунних виливків застосовують наступні види термообробки. Низькотемпературний відпал для сірого чавуну при температурі 500-700° С для зниження внутрішніх напруг.

При цьому видержка складає 3-10 г у залежності від розмірів та конфігурації виливка.

Графітизуючий відпал при температурі 680-750° С для зниження твердості і поліпшення оброблюваності різанням.

Високотемпературний відпал – для графітизації первинних карбідів у вибіленому та половинчастому чавуні (нагрівання до 900-960° С і повільне охолодження до 300° С). При цьому у виливках утворюється перлітна структура оптимальної твердості та міцності.

Нормалізація – для підвищення механічних властивостей та зносостійкості чавуну завдяки отриманню перлітної основи (нагрівання виливків до 850-950° С, після до 500° С їх охолоджують на повітрі, а нижче 500° С - охолоджують повільно разом з піччю).

Гартування та відпускання – для виливків з сірих, високоміцних і ковких чавунів з метою підвищення твердості, міцності та зносостійкості. Виливки нагрівають до 880-930° С і охолоджують у маслі. Структура виливків – мартенсит. Після проводять відпускання нагріванням до 400-600° С з наступним охолодженням. Виливки, які працюють на знос, відпускають при температурі 250-300° С.

Застосовують також хіміко-термічну обробку.

Штучне старіння чавунних виливків застосовується для знімання внутрішніх напруг (нагрівання до 500-550° С, видержка 5-6 г, охолодження разом з піччю). Перед старінням – механічна обдирка.

Сталеві виливки для подрібнення структури та пониження усадочних напруг відпалюють. Температура відпалу повинна бути вищою точки A_{C3} на 30-50° С. Видержка для тонкостінних виливків – 1 г, для товстостінних – 4-6 г.

Нормалізація – для подрібнення первинної структури виливків, а також для підготовки до термообробки.

Високе відпускання – для підвищення ударної в'язкості, зниження твердості виливків.

Гартування у рідких середовищах (воді, маслі) для підвищення міцності та ударної в'язкості малих та середніх виливків. Перед гартуванням виливки необхідно відпалити, а після гартування – відпустити.

Нормалізація з відпусканням підвищує пластичні властивості та ударну в'язкість сталі.

Дефекти виливків та їх виправлення

Дефекти виливків, котрі найчастіше зустрічаються, можна розділити на 4 групи:

зовнішні дефекти, котрі виявляються безпосередньо на поверхні

випливи (невідповідність розмірів та маси заданим, спаї, заливи, перекося, недоливи і т. п.);

об'ємні дефекти, котрі розміщені всередині випливу і порушують його суцільність (гарячі і холодні тріщини, газові та усадочні раковини тощо);

невідповідність хімічного складу та структури випливу заданим;

незадовільні механічні властивості.

Дефекти випливи визначаються стандартами.

Контроль якості випливи виконують наступними способами:

зовнішнім оглядом;

хімічний склад перевіряють за допомогою хімічного або спектрального аналізу, що дозволяє швидко визначити вміст Mn, Cr, Ni, Si та інших елементів;

геометричні розміри – за допомогою мірних інструментів, шаблонів, пристроїв, за розміткою на плиті тощо;

механічні властивості – для сірого чавуну визначають границю міцності при розтягуванні та твердість за Брінеллем;

структуру металу визначають на зломах, а також на мікрошліфах (макро- та мікроскопічний аналіз) при збільшенні від 100 до 500 разів;

дефекти у випливах визначають магнітним способом, люмінесцентним способом, просвічуванням рентгенівськими та жорсткими γ - променями, ультразвуковим контролем;

контроль на герметичність – рідиною або повітрям.

Дефекти випливи виправляють заварюванням, замазуванням, заклеюванням, просочуванням тощо.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Конструювання випливи.
2. Групи складності випливи і види розміри.
3. Фактори, які необхідно враховувати при конструюванні випливи.
4. Фактори, які впливають на проектування технології формування.
5. Розробка креслення випливу за ГОСТ 3.1125-88.
6. Технологічна документація для виготовлення випливи.
7. Заливання форм, оздоблення випливи.
8. Термічна обробка випливи.
9. Дефекти випливи і їх виправлення.

3. СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ЛИТТЯ

3.1. Лиття в оболонкові форми

Суть і особливості процесу, область застосування

Лиття в оболонкові форми (ЛОФ) – це один з техпроцесів отримання виливків з чистою та гладкою поверхнею $Ra\ 10\ldots 2,5\ \mu\text{м}$ і точністю розмірів до 13-14 квалітету. Оболонкові форми (ОФ) виготовляють з формових сумішей з термореактивними зв'язуючими смолами (у початковий період вони пластичні) за гарячими металевими моделями.

При виготовленні ОФ на карусельній машині (рис. 3.1) односторонню металеву модельну плиту 1 нагрівають до $200\text{--}300^\circ\text{C}$, покривають роздільною сумішшю, щоб не прилипала ФС, і закріплюють на бункері 2 моделлю вниз (полож. І). Бункер з ФС повертають на 180° (полож. II) і піщано-смоляну суміш насипають на гарячу плиту і витримують 15–20 с. [3,4, 62,104,111].

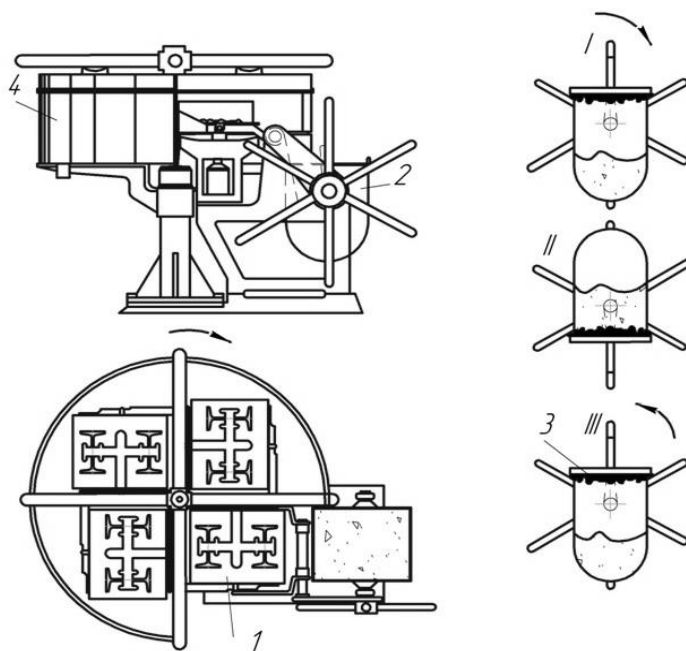


Рис. 3.1. Схема карусельної машини для виготовлення оболонкових півформ

При цьому частинки смоли розплавляються, зв'язуючи піщинки між собою. На поверхні моделі утворюється оболонка 3, котра складається з суміші піску та смоли. Далше бункер повертають у вихідне положення III, суміш, яка не пристала до моделі, зсипається в бункер. Плиту з оболонкою, що утворилася, знімають з бункера і поміщають у піч 4 для тверднення смоли при $230\text{--}400^\circ\text{C}$. Протягом 30–300 с зв'язуючий матеріал остаточно твердне, що надає оболонці високої міцності на згин (5-10 МПа).

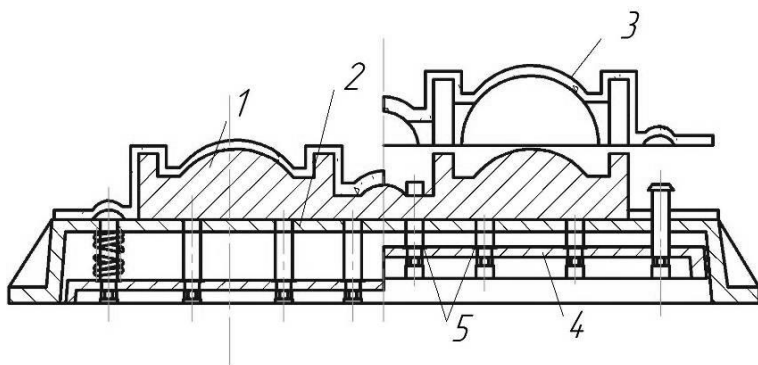


Рис.3.2. Конструкція модельної плити:

1 – модель; 2 – плита; 3 – оболонка; 4 – плита штовхачів; 5 – штовхачі

Лиття в оболонкові форми у порівнянні з литтям у пісчано-глинисті форми має такі переваги:

виливки мають чистішу поверхню і підвищену точність, що дозволяє зменшити припуски на механічну обробку до двох разів (середнє відхилення розмірів вилівка складає 0,3-0,7 мм на 100 мм габаритного розміру, а для невеликих виливків – 0,2 мм);

суттєво підвищується економія металу (до 30 %);

зростає вихід придатного литва, втрати на брак зменшуються в 1,5-2 рази;

у 10-20 разів зменшується розхід формувальних матеріалів;

значно вища продуктивність праці при виготовленні оболонкових форм у порівнянні з виготовленням пісчано-глинистих форм;

при вибиванні виливків оболонкові форми легко руйнуються, що дозволяє зменшити затрати на обрубкування та очищення виливків до 50%.

У порівнянні з литтям у металеві форми, лиття в оболонкові форми, які мають низьку теплопровідність і підвищену податливість, дозволяє отримувати виливки зі зменшеними внутрішніми напруженнями та підвищеною міцністю, меншою товщиною стінок.

Разом з перевагами процес має такі недоліки: висока вартість ФС і висока газотвірна здатність зв'язуючого – смоли, внаслідок чого необхідна посилена вентиляція цеху; дорога оснастка та обладнання. Тому ЛОФ застосовують у МВ та ВСВ, отримують виливки масою до 100 кг з найбільшим розміром до 80 см з різних матеріалів.

Собівартість виготовлення виливків у оболонкових формах дещо вища ніж у пісчано-глинистих формах, але вартість готових деталей значно нища за рахунок зменшення припусків на обробку різанням та розходу металу.

Модельні плити виготовляють з перлітного сірого чавуну, рідше зі сталі, з товщиною стінок моделей не меншою 12 мм і металеві плити – 15-20 мм, з ребрами жорсткості (рис. 3.2). Вертикальні стінки моделей і

Тверда ОФ знімається з плити штовхачами (рис. 3.2). Готові напівформи склеюють або скріплюють і їх засипають в опоках-контейнерах піском або металевим дробом. Форми заливають звичайним способом.

Аналогічно працюють автоматичні лінії.

стержньових ящиків мають уклони $0,5-1^\circ$, а знакові частини – $2-5^\circ$. Шорсткість поверхонь моделей Ra 1,25...0,32 мкм. Штовхачі розміщують рівномірно по периметру на віддалі не меншій 3 мм від краю. На кожні 100 см² плити передбачають один штовхач. Припуск на обробку різанням 1-2 мм, а у випадку обробки шліфуванням 0,25-0,5 мм.

Формові суміші. Для ЛОФ найчастіше застосовують суміші з 100 % (за масою) дрібнозернистого кварцевого піску та 6-7 % зв'язуючого ПК 104 (пульвербакеліт). У суміш вводять 0,2-0,5 % зволожника (гас, гліцерин) та до 1,5 % розчинника (ацетон, фурфурол, етиловий спирт та інші).

У МВ застосовують плаковані суміші, в котрих пульвербакеліт рівномірно обволікає зерна піщинок. Розрізняють гаряче та холодне плакування. При цьому підвищується міцність та газопроникність ОФ.

ФС для ОФ приготівляють у лопаткових, шнекових та інших змішувачах.

Оболонкові форми виготовляють за дві стадії:

- 1 - термопластична смола плавиться і обволікає піщинки;
- 2 - уротропін, котрий входить у склад зв'язуючого ПК-104, розкладається з виділенням формальдегіду, який взаємодіє зі смолою і в результаті проходять незворотні процеси тверднення смоли.

Оболонкові стержні виготовляють у металевих стержньових ящиках різними способами: насипним, що застосовується при ручному та механізованому виготовленні стержнів; піскодувним; відцентровим. Перший спосіб аналогічний способів виготовлення напівформ (рис. 3.3), але замість модельних плит застосовують стержньові ящики (машина повинна мати поворотний бункер).

Складання та заливання форм. Найпростіший, але трудомісткий спосіб складання напівформ, – механічний, за допомогою болтів та скоб. Найпродуктивніше – склеювання НФ на спеціальних машинах. На практиці розповсюджені штирьові машини з пневматичними затискачами оболонок та ручним нанесенням клею. Склеєні НФ 1 (рис. 3.4) перед заливанням установлюють у контейнері 2 з піском або металевим дробом, щоб форми не зруйнувалися. Для заливання без дробу, тобто без опорного матеріалу, застосовують пневмозатискачі.

Для вибивання виливків застосовують обертові нахилені барабани з ребрами всередині, вібромашини тощо.

Дільниці формування та заливання повинні добре вентилуватися.

Лиття в оболонкові форми (ЛОФ) найчастіше застосовують у МВ та ВСВ для виготовлення плоских та інших виливків з чорних сплавів. Допуски та припуски для ЛОФ визначають за ГОСТ 26645-85.

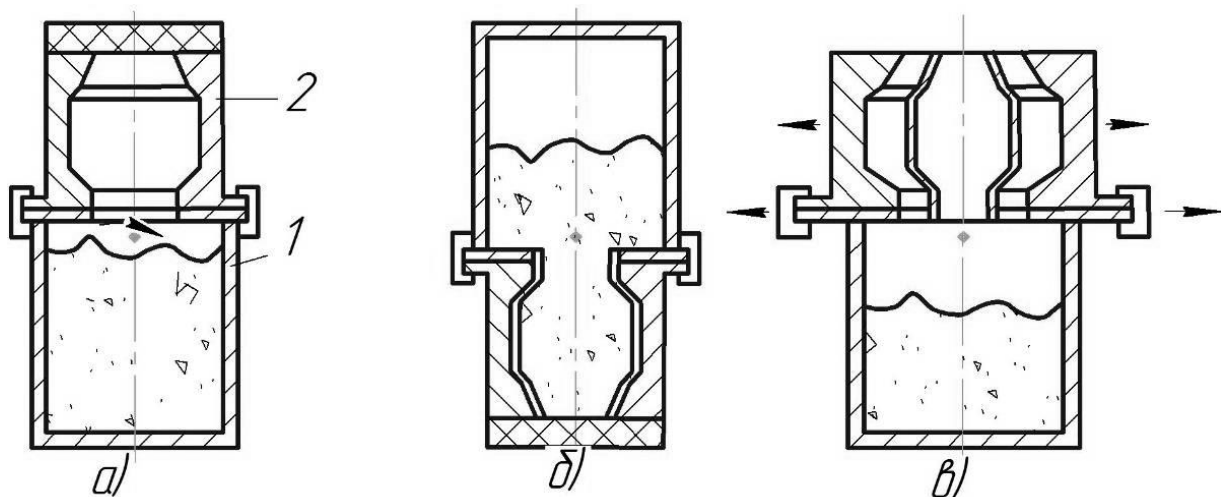


Рис. 3.3. Схема виготовлення оболонкового стержня:
 а – установка ящика; б – формування стержня; в – витягання стержня

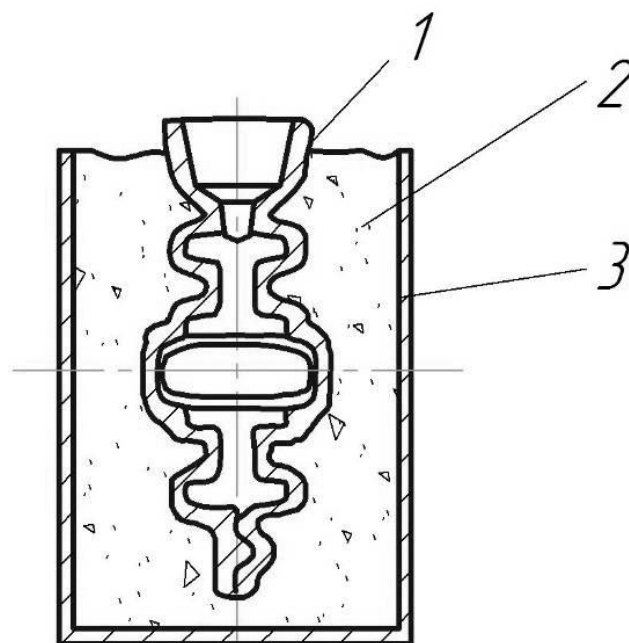


Рис. 3.4. Зібрана оболонкова форма в контейнері

Контрольні питання для самоперевірки

1. Суть процесу лиття в оболонкові форми.
2. Послідовність виготовлення виливків при (ЛОФ) литті в оболонкові форми.
3. Переваги та недоліки способу лиття в оболонкові форми.
4. Основні вимоги до конструкції виливків.

3.2. Лиття за моделями, що виплавляються

Суть процесу, особливості та область застосування

Суть способу лиття за моделями, що виплавляються (ЛВМ) – разову модель і ливникову систему виготовляють з такого матеріалу, котрий без руйнування форми можна випалити або розчинити і отримати нерознімну форму, що забезпечує високу геометричну точність виливків [3,4,56,111].

Разові моделі 1 виливка (рис.3.5) виготовляють у прес-формі 2 шляхом заливання або запресовування шприцем модельної маси. Після

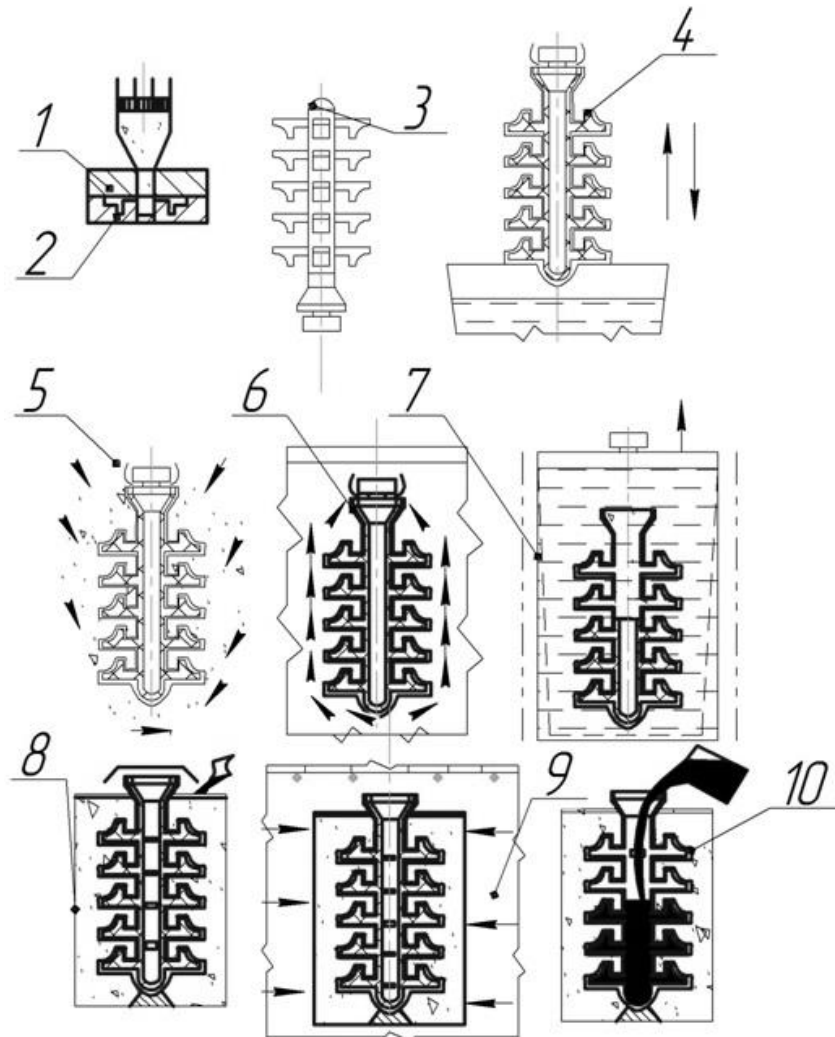


Рис. 3.5. Послідовність операцій виготовлення виливків за моделями, які виплавляють

моделі складають у блоки 3 за допомогою електропаяльника або склеюванням. На поверхню модельного блоку зануренням наносять шар 4 рідкої суміші – суспензії, що складається з пилоподібного вогнетривкого матеріалу (кварц, корунд) та зв'язуючого – колоїдного розчину SiO_2 . Отриманий шар суміші посипають зернистим вогнетривким матеріалом 5

(піском, шамотом) і висушують. При сушінні розчинник випаровується, в результаті чого колоїдний розчин SiO_2 з нестійкого стану – золя переходить у стійкий стан – гель. Гель зв'язує зерна вогнетривкого матеріалу і оболонка 6 набуває міцності.

Після знову наносять шар суспензії і знову обсипають зернистим вогнетривким матеріалом. У результаті отримують 4-6 шарову оболонку на поверхні блоку моделей.

Після цього виплавленням або розчиненням у гарячій воді 7 з оболонки видаляють модель. Отриману форму установлюють в опоці з жаростійкої сталі з сухим кварцевим піском.

Для видалення вологи і залишків модельної маси ОФ прожарюють в печах 9 при $900-1000^\circ \text{C}$. У прожарену ОФ в нагрітому стані заливають метал 10.

Після охолодження виливків їх поверхню очищують від оболонки форми, котра легко відділяється від зовнішніх поверхонь виливка. З внутрішніх порожнин виливків оболонка видаляється вилуговуванням.

Переваги ЛВМ: можливість виготовлення виливків складної конфігурації з товщиною стінок до 0,5 мм і отворами діаметром понад 2 мм переважно зі сталі та жароміцних сплавів, що важко оброблюються різанням; можна отримати виливки з точністю до 11-13 квалітету і шорсткістю поверхонь $Ra\ 2,5-1,25\ \mu\text{м}$; складна форма виливків.

ЛВМ застосовують в ОВ, СВ та МВ. Найдоцільніше виготовляти дрібні виливки складної конфігурації, виливки з труднооброблюваних матеріалів, але спосіб відносно трудомісткий і дорогий.

Виготовлення моделей. Моделі, що виплаваються, виготовляють у прес-формах з сталі, алюмінієвих сплавів, гіпсу, епоксидних смол ЕД-5 та ЕД-6, дерева та інших матеріалів. Розміри ПФ розраховуються з урахуванням усадки модельної суміші, деформації ОФ при прожарюванні та усадки металу виливка. Робочу порожнину ПФ виготовляють з точністю на 1-2 квалітети вищою від необхідної точності виливка. Шорсткість поверхонь ПФ – $Ra\ 0,63-0,32\ \mu\text{м}$, їх полірують. Уклони – не менші $0,5^\circ$.

Модельні сполуки найчастіше органічного походження на основі парафіну, стеарину, буровугільного воску, церезину, каніфолі, полістиролу, поліетилену, жирних кислот та інших. Модельні сполуки повинні мати такі властивості: температура плавлення – $60-100^\circ \text{C}$; температура початку розм'ягчення – вища від температури робочого приміщення на $35-45^\circ \text{C}$; мінімальна та стабільна ливарна усадка; добра рідкотекучість; достатня твердість та міцність; мінімальна зольність та неприлипання до поверхні ПФ; хімічна інертність відносно матеріалу ПФ та оболонкової форми; не виділяти шкідливі пари при нагріванні та згорянні; можливість багаторазового використання; добра змочуваність облицювальним

матеріалом; низька вартість.

У залежності від вимог до точності та шорсткості поверхонь виливків та типу виробництва, модельні сполуки розділяють на такі, що виплавляються (легкоплавкі та тугоплавкі), що розчиняються і що випалюються.

Наприклад: легкоплавкі – ПС 50-50 (50 % парафіну, 50 % стеарину); тугоплавкі – КПсЦ 50-50 (50 % каніфолі, 50 % полістиролу); розчинні – карбамідна водорозчинна модельна сполука МОН-10К (карбамід – 90%, калієва селітра – 10 %), що заливають при температурі 135-140° С; випалювані – пінополістирол.

Технологія виготовлення виливків ЛВМ розглядає ливарні сплави, конфігурацію виливків, способи заливання і очищення виливків.

Сплави ЛВМ використовують для виготовлення виливків з різних сталей та сплавів: вуглецевих, легованих, корозійно-жаростійких і жароміцних сталей та сплавів титану. Найефективніше застосування ЛВМ для складних виливків з труднооброблюваних сталей та сплавів.

Конфігурація вилівка може бути особливо складною з товщиною стінки до 0,5 – 1 мм, з малими отворами до 2 мм у стінках товщиною не більшою 1,5 мм. Порожнини розміщують так, щоб забезпечити можливість запресування модельної сполуки у порожнину ПФ, нанесення суспензії і обсипного матеріалу, видалення модельної сполуки з оболонки. Крупні виливки доцільно зварювати. Допуски, припуски та технологічні напуски для ЛВМ визначають за ГОСТ 26645-85. При ЛВМ 30 % браку обумовлено недоліками ливниково-живильних систем. Найдосконаліші ливникові системи для ЛВМ наведені в ГОСТ 19551-74 ... ГОСТ 19568-74.

Заливання при ЛВМ може бути вільним, на відцентрових машинах, під низьким тиском. Виливки від ливників відділяють на вібраційних машинах, установках, протискуванням стояка з виливками через відрізний штамп, відрізуванням механічним або газовим різанням тощо.

Очищення виливків від залишків ОФ – трудомістка операція. Звичайно застосовують вилуговування, коли при 150° С у ванну з 50 % розчином КОН на 30-40 хв занурюють виливки; після їх промивають у гарячій воді, сушать і пасивують у водному розчині соди з 3 % натрієвої селітри і сушать. Залишки ливників зачищають наждачними кругами. Необхідно дотримуватись правил охорони праці.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Загальні відомості процесу лиття за моделями, які виплавляються.
2. Суть процесу лиття за моделями, які виплавляються.
3. Виготовлення моделей та форм.
4. Модельні сполуки та вимоги до них.
5. Основні вимоги до конструкції виливків.

3.3. Лиття в кокілі

Суть процесу, його особливості та область застосування

Лиття в кокілі (ЛК) – один зі способів отримання виливків підвищеної точності до 12-13 квалітету і якості поверхонь до Ra 10...2,5 мкм у металевих формах (МФ). Це форми багаторазового використання. Кокілі виготовляють з високою точністю і малою шорсткістю поверхонь, що дозволяє отримувати якісні виливки. Висока теплопровідність форм значно прискорює тверднення і охолодження виливків, що в багатьох випадках позитивно впливає на їх механічні властивості. При ЛК, у порівнянні з литтям у піщано-глинисті форми, випуск виливків з одиниці площі цеху збільшується в 2-5 разів, збільшується вихід придатних виливків за рахунок зменшення припусків на обробку різанням та відходів, знижується собівартість виливків та розхід ФС, полегшується механізація та автоматизація виробництва, полегшуються умови праці. Допуски та припуски на розміри виливків для ЛК визначають за ГОСТ 26645-85.

Недоліки ЛК: висока вартість кокілів, тому їх застосовують у МВ і ВСВ, рідше в ССВ; недостатня стійкість форм при литті сталі та чавуну (для середніх виливків відповідно: 60-100, 100-500; для дрібних – сталь - 100-500, чавун - 1000-5000); можливість вибілювання чавунних виливків (для усунення цього їх відпалюють). [3,4,49,103,104,111,]

ЛК рентабельне при умові знімання з кожної форми не менше 200-300 невеликих і 50-100 крупних виливків.

Техпроцес виготовлення виливків у кокілях складається з таких операцій: підготовка форми (очищення, нагрівання, нанесення на робочі поверхні теплозахисного покриття та фарб); складання форми (установлення стержнів у форму, закривання та закріплення частин форми); заливання у форму рідкого металу; тверднення вилівка; витягання вилівка з форми після остигання (розкривання форми за допомогою механізмів або вручну); обрубка, очищення і, при необхідності, термообробка виливків.

Кокілі. Кокілі виготовляють з перлітно-феритного сірого чавуну, сталі. Дрібні кокілі – з СЧ 20, СЧ 30; середні – з СЧ 15, СЧ 18; великі – з сталі 15Л, 15ХМЛ.

Кокілі бувають (рис. 3.6) нерознімні; з горизонтальною, вертикальною або складною поверхнею рознімання. При конструюванні кокілів особливу увагу звертають на їх вентиляцію, тобто виведення з форми газів за допомогою випору та газовідвідних каналів, глибиною не більшою 0,3 мм, виконуваних у площині рознімання форми або в місцях стику частин форми (рис. 3.7).

Кокільні фарби та теплозахисні покриття застосовують для захисту поверхні кокіля від дії рідкого металу і збільшення часу його служби,

регулювання швидкості охолодження і поліпшення заповнюваності форми. Покриття включають речовини з малою теплопровідністю. Їх склад залежить від металу, що заливається. Наприклад, для алюмінієвих сплавів: 9 % оксиду цинку, 28 % прожареного азбесту, 6 % рідкого скла, 57 % води; для чавуну: 5-7 % рідкого скла, 10-15 % графіту, 10-15 % вогнетривкої глини, решта – вода.

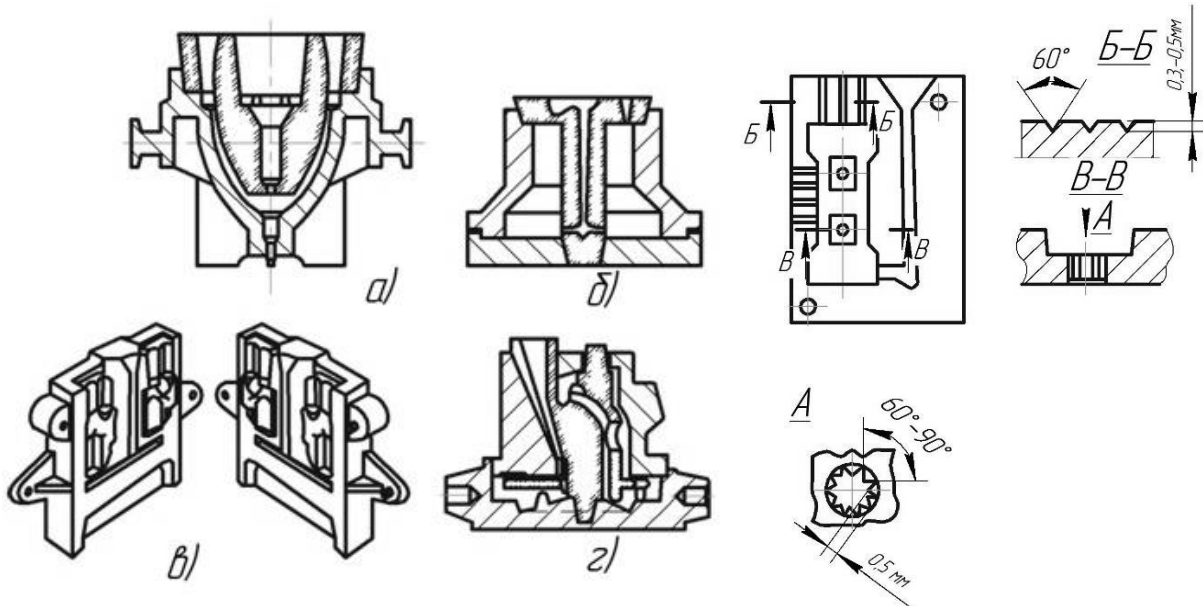


Рис. 3.6. Металеві форми:
а – нерознімні; б – з горизонтальною;
в – вертикальною; г – з декількома
площинами рознімання

**Рис. 3.7. Газовідвідні канали
в кокілях**

Крім того, для усунення вибілювання зверху фарби наносять шар ацетиленової сажі. Фарби наносять пульверизатором тонким шаром 0,1...0,5 мм на робочі поверхні кокіля, нагріті до 100-150° С.

При литті чорних металів застосовують кокілі облицьовані (плаковані) піщано-смоляною сумішшю товщиною 3-5 мм, при цьому поверхня кокіля повинна бути шорсткою.

Порожнини у виливках при ЛК отримують за допомогою звичайних або оболонкових стержнів. Облицьовані кокілі застосовують у МВ і ВСВ. Для облицювання потрібне спеціальне обладнання (рис. 3.8).

Ливникові системи кокілів. Внаслідок швидкого охолодження металу ливникові канали роблять більшого перерізу, ніж при литті у піщані форми. Площу перерізу живильників беруть на 25-33 % більшою, ніж для піщаних форм. Довжина ливникових каналів повинна бути можливо меншою і в них не допускаються гострі кути, повороти або різкі зміни перерізів, тобто теплові та гідравлічні втрати повинні бути мінімальними.

Для легких сплавів рекомендується таке співвідношення площ елементів ливникової системи:

$$F_{\text{ст}} : F_{\text{кол}} : F_{\text{жив}} = 1 : 2 : 3, \text{ або } 1 : 2 : 6.$$

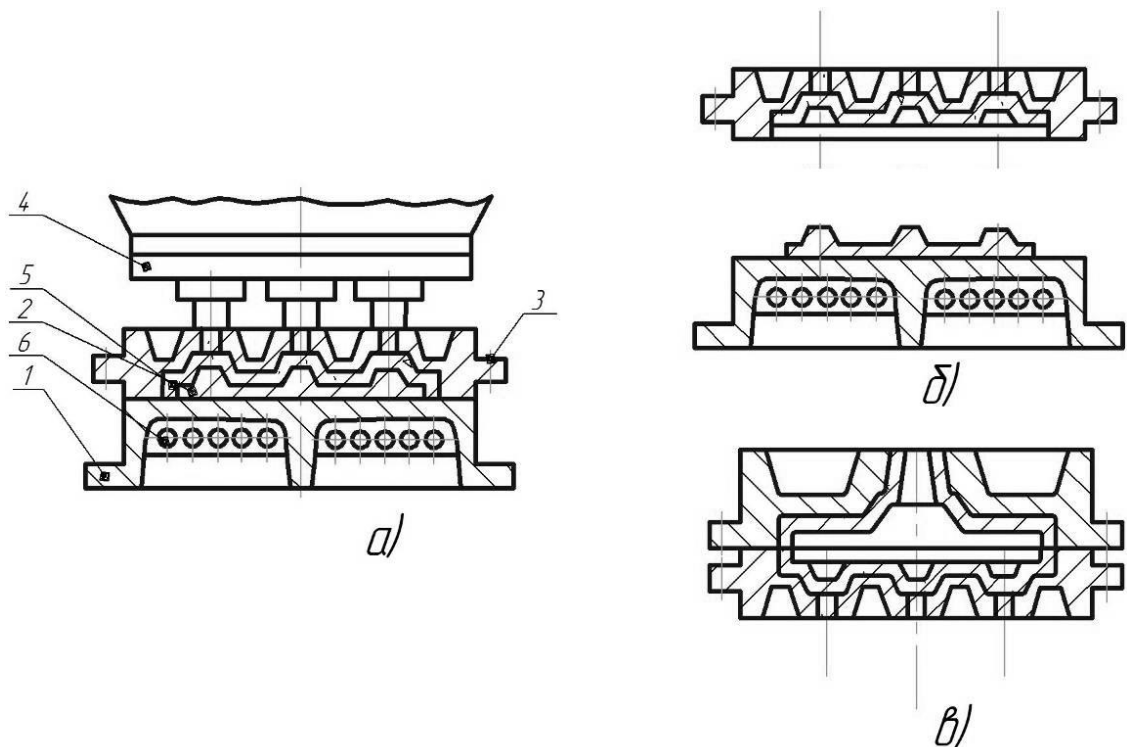


Рис. 3.8. Схема процесу облицювання кокіля:

а – надування суміші; б – знімання кокіля з плити; в – кокіль в зборі;
1 – плита; 2 – модель; 3 – кокіль; 4 – піскодувна головка; 5 – облицювання;
6 – нагрівники

Розплав підводять у кокіль зверху, знизу або збоку (рис. 3.9). Для алюмінієвих та магнієвих сплавів часто застосовують вертикально-щілинні живильники та зигзагоподібні стояки. ЛС для лиття в кокіль можна розраховувати за тими ж формулами, що і для піщаних форм.

Лиття чавуну. Перед заливанням чавуну в кокіль його робочі поверхні (порожнини) покривають теплозахисними покриттями та фарбою, котрі відновлюють через кожні 100-200 заливань після очищення форми від старого покриття. Перед початком роботи форму нагрівають до 200-250° С, щоб не було розтріскування поверхонь форми. Для усунення вибілювання робочі поверхні кокіля, крім фарби, перед кожним заливанням обов'язково покривають кіпоттю ацетиленового полум'я.

Висока міцність кокілю, точніші робочі порожнини форми, дають можливість одержувати виливки високої точності до 15-го квалітета.

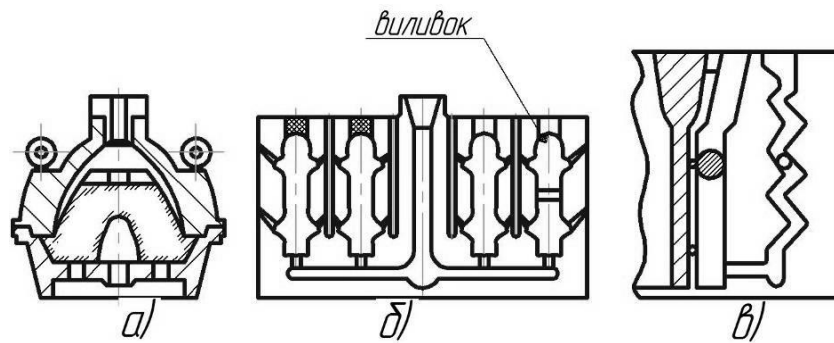


Рис.3.9. Схеми підводу розплаву в кокілі

Особливості лиття різних сплавів у кокілі.

Кокіль звичайно охолоджують повітрям. При доброму догляді кокілі витримує 3000-5000 заливань чавуном. Температура заливання чавуну $\sim 1280-1330^{\circ}\text{C}$.

Чавунні виливки масою до 10 кг з перерізом стінок до 12 мм без вибілювання отримати дуже трудно. Звичайно такі виливки відпалюють (за винятком простих товстостінних) для усунення вибілювання і знімання внутрішніх напруг.

Лиття алюмінієвих сплавів. Температура заливання $\sim 710-720^{\circ}\text{C}$ і кокілі витримує до 50000 заливань. Виливки з алюмінієвих сплавів при литті в кокілі більш щільні та дрібнозернисті, ніж при литті в піщані форми, що підвищує міцність при розтягуванні на 20-25 %, а відносно видовження – в 1,5-2 рази. Алюмінієві сплави мають добру рідкотекучість, але вони мають велику усадку і необхідно передбачати додатки в теплових вузлах і забезпечувати послідовне тверднення підводом металу до виливка.

При литті тонкостінних алюмінієвих виливків з сплавів зі зниженою рідкотекучістю кокілі нагрівають до $300-350^{\circ}\text{C}$, а сплавів з доброю рідкотекучістю (масивні виливки) – до $200-250^{\circ}\text{C}$. Звичайно температура перегріву алюмінієвих сплавів при литті в кокілі $\sim 100-150^{\circ}\text{C}$.

Лиття сталі в кокілі. У кокілях отримують виливки зі сталей 15Л, 20Л, 35Л, 45Л простої конфігурації. Часто установлюють додатки. Тому, що сталь має низьку рідкотекучість, то ЛС повинна створювати мінімальні теплові та гідравлічні втрати при заповненні форми. Перед заливанням сталі кокілі нагрівають до $200-300^{\circ}\text{C}$. Для знімання внутрішніх напруг сталеві виливки відпалюють. Лиття сталі в кокілі застосовується рідко.

При литті в кокілі механізують розкривання та закривання форм, установку та витягування стержнів, видалення виливків з форми, покриття форми облицювальними сполуками, охолодження та нагрівання форми, процес заливання. Застосовують однопозиційні та карусельні кокільні машини.

Підвищення стійкості металевих форм

Для підвищення стійкості металевих форм (МФ) на робочу поверхню форм, підігріту до 150-200° С, наносять теплоізоляційну фарбу або мастило товщиною від 0,05 до 0,6 мм. Фарба та зазор, що утворюється між робочою поверхнею і виливком внаслідок усадки виливка і розширення форми, є значним термічним опором. Зміною товщини фарби регулюють величину термічного опору і інтенсивність теплообміну між виливком та формою. Фарба виконує другу, не менш важливу роль – знижує температуру робочої поверхні і цим підвищує стійкість форм. Найчастіше для виготовлення кокілів застосовують сірі перлітні чавуни. Сталь при нагріванні жолобиться, тому її рідко застосовують для виготовлення кокілів.

Стійкість МФ тим вища, чим менший коефіцієнт термічного розширення, нижча величина модуля пружності і більший коефіцієнт теплопровідності матеріалу. Так при підвищенні вмісту вуглецю в чавуні виливниць з 3,5 % до 4 % (при 1,3 % Si і 1 % Mn) модуль пружності зменшується з 75000 до 50000 Н/см², а коефіцієнт теплопровідності підвищується від 0,13 до 0,18 ккал/м·г·град, стійкість виливниць підвищується на 20-30 %.

Стійкість МФ тим вища, чим більша товщина шару фарби і менший коефіцієнт її теплопровідності; чим менша температура заливання форми. Товщину шару фарби можна змінювати в межах до 0,6 мм. При великій товщині вона погано утримується на контактній поверхні. Необхідно відмітити, що при температурах свічення (понад 700° С) фарб коефіцієнт теплопровідності усіх сполук практично однаковий. Тобто впливати складом фарб на стійкість форм можна лише при литті кольорових сплавів. При литті чавуну та сталі головну роль виконує товщина шару фарби. Початкова температура виливниць повинна бути 100-200° С, а кокілів – 200-400° С.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Лиття в металеві форми-кокілі.
2. Особливості та суть процесу.
3. Конструкції кокілів і їх ливникових систем.
4. Особливості лиття різних сплавів у кокілі.
5. Основні вимоги до конструкції виливків.

3.4. Лиття під тиском

Суть та особливості процесу, область застосування

Суть процесу лиття під тиском (ЛТ) у тому, що розплавлений метал подається в металеву форму (МФ) під надлишковим тиском 30-100 МПа,

що дозволяє отримувати точні та чисті виливки, які практично не потребують дальшої обробки [3,4,103,104,111].

На рис. 3.10 показана схема машини для ЛТ з горизонтальною холодною камерою пресування. Прес-форму (ПФ) для ЛТ, що складається з рухомої та нерухомої частин, закріплюють на рухомій 3 та нерухомій 5 плитах машини болтами. Правильність установки ПФ 4 перевіряють відкриванням та закриванням за допомогою механізму замикання 2, котрий приводиться в рух гідроциліндром 1.

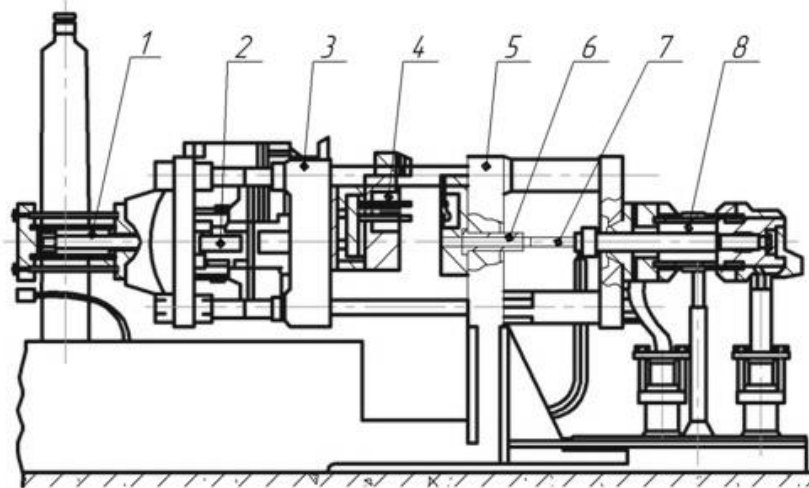


Рис. 3.10. Схема машини для лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування

Процес лиття починається з підігрівання ПФ, заливального стакану 6 і пресуючого поршня 7. Для цього робітник-оператор заливає декілька разів розплав у ПФ, при цьому отримує брак, котрий переплавляють. Після підігрівання ПФ змащують спеціальним мастилом, особливо ті частини, що труться – пресовий стакан 6 та поршень 7. Після (рис. 3.11) у пресовий стакан заливають розплав, вмикають механізм заповнення 8 і поршень 7 витискує розплав у порожнину форми (рис. 3.11, б). Після заливання метал видержують до затверднення та остигання виливка, після ПФ розкривається і з неї виштовхується виливок (рис. 3.11, г).

Лиття під тиском – найперспективніший спосіб виготовлення виливків з алюмінієвих, магнієвих, цинкових сплавів та латуні.

Основні переваги ЛТ: висока продуктивність процесу та якість виливків; можливість отримання складних тонкостінних виливків без подальшої обробки різанням, з чистою і гладкою поверхнею, дрібнозернистою структурою і високими механічними властивостями.

Товщина стінок виливків – до 0,8 мм, точність розмірів – до 10-12 квалітету, шорсткість поверхонь – до Ra 2,5...1,25 мкм.

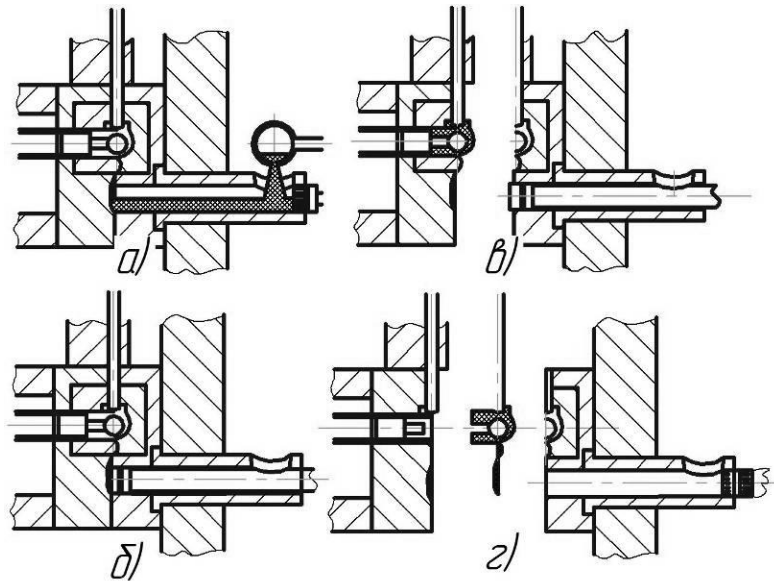


Рис. 3.11. Основні технологічні переходи лиття під тиском

Допуски та припуски на розміри виливків, отриманих ЛТ, визначають за ГОСТ 26645-85. Легко виконати комплексну автоматизацію.

Недоліки ЛТ: висока вартість прес-форм, складність та тривалість їх виготовлення; трудно отримувати виливки з складними порожнинами, піднутреннями; газоповітряна пористість у виливків; обмежена номенклатура сплавів, розмірів та маси виливків. Тому ЛТ економічно вигідне в МВ та ВСВ. Однак конструкції нормалізованих форм та універсальних збірних форм дозволяють застосовувати ЛТ у ССВ і навіть у МСВ.

Особливості формування вилівка. Висока якість виливків при ЛТ обумовлена високою інтенсивністю охолодження розплаву в нефарбованій металевій формі, що потребує заповнення її розплавом з високою швидкістю 1-35 м/с.

Розрізняють два способи заповнення ПФ. Перший – за принципом максимального тертя, коли форму заповнюють через тонкий живильник товщиною 0,5-1,5 мм з високою швидкістю понад 10-15 м/с. При цьому отримують тонкостінні виливки великих розмірів, але часто утворюються газові раковини. Другий – за принципом мінімального тертя, коли ПФ заповнюється розплавом через масивний живильник. Заповнення проходить з меншими швидкостями ніж за першим способом. Цей спосіб застосовують для лиття товстостінних виливків, при цьому отримують виливки більш щільні, хоч не виключено отримання газової пористості.

Для підвищення щільності та механічних властивостей застосовують різні види лиття (під тиском з застосуванням вакууму, кисневий процес, під тиском з підпресуванням, під тиском сплавів у твердорідкому стані).

Лиття під тиском з застосуванням вакууму, що дозволяє на 30 % зменшити товщину стінок виливка у порівнянні зі звичайним ЛТ, але при цьому ускладнюється машина та знижується продуктивність.

Кисневий процес, коли перед заливанням металу у ПФ подається кисень, який витісняє газу, пару та повітря. При заливці металу кисень вступає з ним в хімічну реакцію і в ПФ утворюється вакуум, а в розплаві – дрібненькі частини оксидів, що рівномірно розміщені в об'ємі виливка. Оксиди не знижують механічних властивостей виливка. Такі виливки можна термічно оброблювати. Ці два способи ускладнюють обладнання і їх застосовують для виготовлення відповідальних виливків.

Лиття під тиском з підпресуванням, коли статичний тиск на метал передається від моменту закінчення заповнення ПФ до повного затверднення виливка. При цьому метал у живильнику повинен твердіти останнім. Іноді в кінці затверднення тиск за допомогою мультиплікаторів підвищують до 500 МПа.

Лиття під тиском сплавів у твердорідкому стані використовується для підвищення щільності та герметичності виливків. При цьому використовується властивість сплавів зберігати рухомість в інтервалі температур ліквідус – солідус (твердорідкому стані), якщо їх інтенсивно перемішувати. У результаті усадка сплаву, газоповітряна пористість та інші дефекти зменшуються і отримують щільні та якісні виливки.

Прес-форми. Прес-форми (ПФ) виготовляють з спеціальних жароміцних хромистих сталей 3Х2В8Ф, 4Х5МФС, Х5НМ, вуглецевих інструментальних сталей У8, У10. Стійкість ПФ з цих сталей для виливків з алюмінієвих сплавів – 60000-200000, а ПФ з сталі 3Х2В8Ф для виливків з латуні (60% Cu, 40% Zn) – 5000-50000.

По площині рознімання ПФ (рис. 3.12) діляться на дві частини: нерухому (матрицю) та рухому (пуансон), який має пристрій для виштовхування виливка.

У прес-формі часто використовують рухомі а також від'ємні стержні, для витягування котрих іноді застосовують спеціальні механізми – приводи. Торці виштовхувачів установлюють на 0,3-0,5 мм вище або нижче від рівня оформлюваної поверхні ПФ. Розміри робочих порожнин ПФ повинні бути на 1-2 квалітети точнішими від відповідних розмірів виливка.

Робочі поверхні ПФ термічно оброблюють, полірують, передбачають охолодження робочих поверхонь повітрям, а стінок – водою, яка циркулює по каналах усередині стінок.

Економічну доцільність застосування лиття під тиском необхідно оцінювати з урахуванням технологічних властивостей матеріалу деталі і стійкості прес-форм.

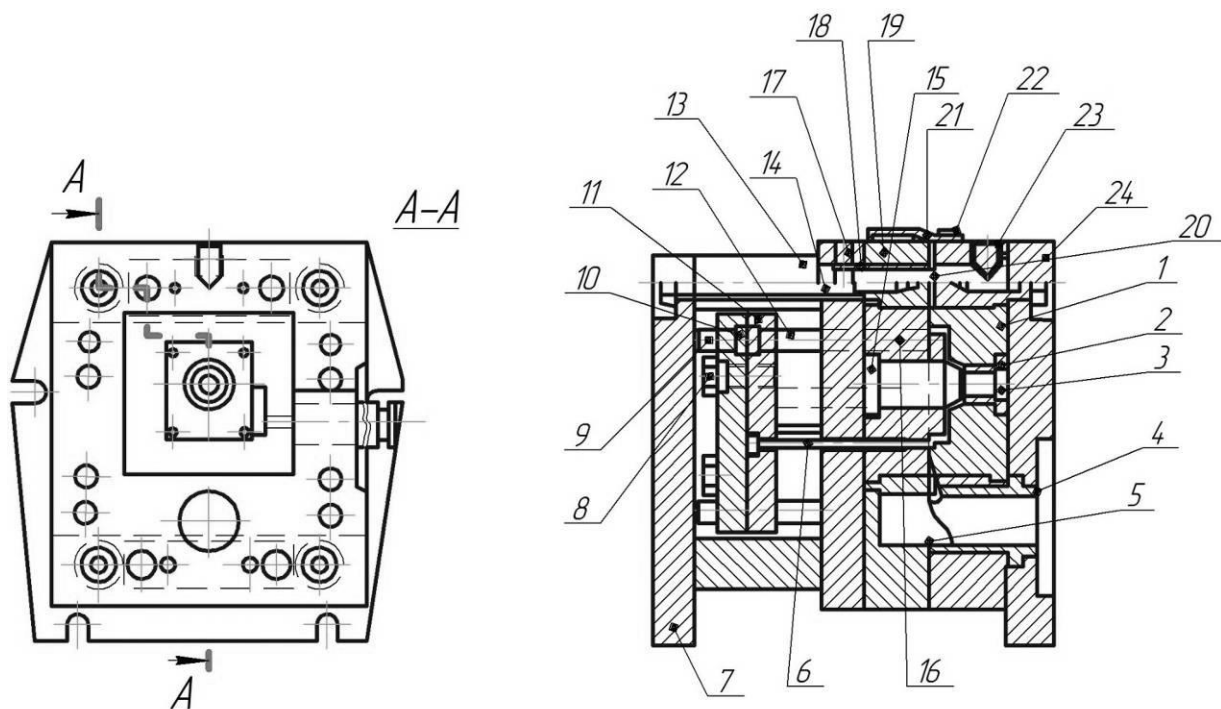


Рис. 3.12. Прес-форма для лиття під тиском

Машини. Лиття під тиском виконують на машинах з гарячою і холодною камерою пресування.

Машини з гарячою камерою пресування (рис.3.13) застосовують для лиття легкоплавких сплавів на основі цинку, олова, свинцю: 1 – камера пресування, що розміщена в тиглі 2 з розплавом, 2 – тигель, 5 – отвір для поступання розплаву, 3 – канал, що обігрівается, 4 – прес-форма. Тому, що основні вузли машини знаходяться при високій температурі в розплаві, то їх застосовують для легкоплавких сплавів і при відносно низьких тисках (в основному для цинкових, рідше для магнієвих сплавів).

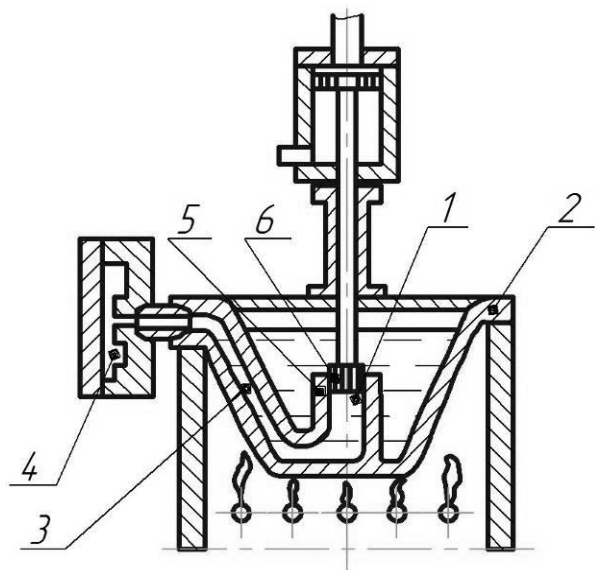


Рис. 3.13. Схема машини для лиття під тиском з гарячою камерою пресування

Машини з холодною камерою пресування (рис. 3.14) застосовують для отримання виливків зі сплавів алюмінію, міді, магнію. Розплав подається з печі у пресовий стакан мірним ковшем або спеціальним дозуючим механізмом. У залежності від напрямку переміщення поршня розрізняють машини з горизонтальною та вертикальною камерою

пресування. При литті алюмінієвих та мідних сплавів тиск сягає 30-100 Мпа.

Машина з горизонтальною камерою пресування показана на рис. 3.10, а на рис. 3.14 – з вертикальною холодною камерою пресування:

1 – поршень, 2 – камера пресування, 3 – нижній поршень, 4 – пружина, 5 – мундштук, 6 – нерухома частина ПФ (матриця), 7 – рухома частина ПФ (пуансон), 8 – залишок металу, 9 – виливок.

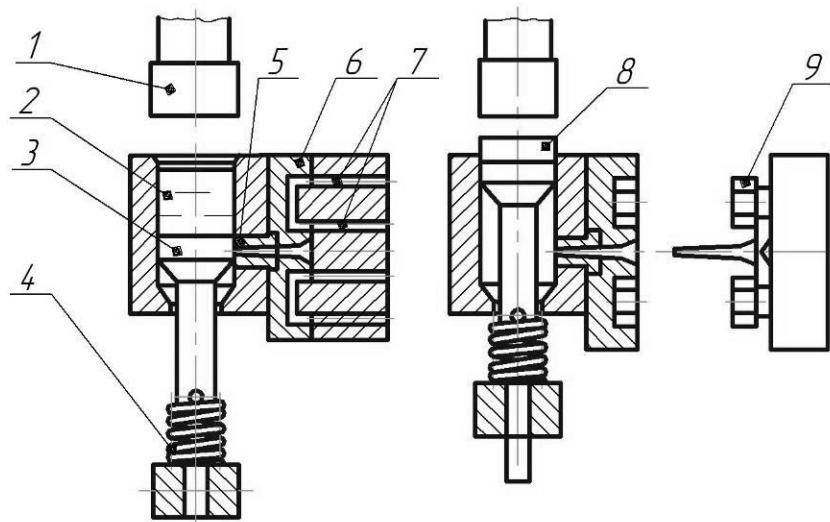


Рис. 3.14. Схема роботи машини з вертикальною холодною камерою пресування

Сучасні машини мають механічні, вакуумні, електромагнітні та пневматичні дозатори. Автоматичні ливарні комплекси для ЛТ випускають спеціалізовані заводи ливарних машин.

Технологічні режими. Для ЛТ найширше застосовують алюмінієві сплави. Вони досить міцні та пластичні при високих температурах, мають добру рідкотекучість і стабільний хімічний склад при тривалій видержці в роздавальних печах. Застосовують сплави АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ10, АЛ11 та інші. Крім того, для ЛТ застосовують сплави: магнієві МЛ3, МЛ5; цинкові ЦАМ4-1, ЦАМ5-10; мідні ЛЦ40Сд, ЛЦ16К4 та інші.

Конструкція виливка. Конструкція виливка повинна задовольняти експлуатаційні вимоги, бути технологічною, а також урахувати властивості сплаву, особливості формування виливка при ЛТ і подальшу обробку різанням. Стінки та ребра повинні бути приблизно однакової товщини в усіх його частинах, щоб вилучити газоповітряну пористість та раковини.

Тонкостінні виливки при ЛТ мають дрібнозернисту структуру і високу міцність. Жорсткість виливка може бути підвищена за допомогою ребер, що становлять 0,8-0,9 від товщини стінок.

Ливникова та вентиляційна системи повинні забезпечувати поступання у форму розплаву без ударів об які-небудь перешкоди – стержні, виступи, що викликають завихрення потоку, а також забезпечувати видалення повітря та газів з форм.

Живильники повинні бути розміщені так, щоб не утворювалось зустрічних потоків розплаву, ударів струменя об стінку форми або стержень, різких поворотів, розширення струменя тощо.

Вентиляційна система ПФ складається з каналів у вигляді щілин глибиною 0,05-0,3 мм і шириною 5-20 мм. Їх розміщують у місцях найбільш вірогідного скупчення повітря. У залежності від розміщення ливникового ходу відносно виливка, ливникові системи бувають трьох типів.

Пряма ЛС (рис. 3.15, а), коли ливниковий хід безпосередньо з'єднується з порожниною форми. Ця ЛС забезпечує направлене заповнення форми суцільним потоком з мінімальними тепловими та гідравлічними втратами. Застосовується для виливків, що не мають у центрі отворів.

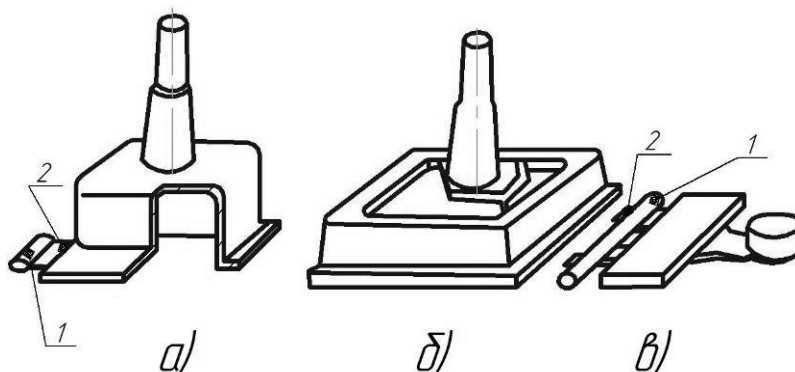


Рис. 3.15. Типи ливникових систем

Внутрішня ЛС (рис. 3.15, б), що використовується для виливків типу рамок. Така ЛС дозволяє зменшити розміри форми.

Бокова ЛС (рис. 3.15, в), коли розплав підводиться через зовнішній контур виливка. Часто застосовується в одно- або багатомісних формах.

Температура нагрівання ПФ перед заливанням цинкових сплавів – 120-160° С, алюмінієвих – 180-250° С, латуней – 280-320° С. При литті на машинах з холодною камерою пресування температуру розплаву при заливанні приймають на 10-20° С вищою від температури ліквідусу.

Тиск пресування знаходиться в межах 30-100 МПа і, виходячи з практичних рекомендацій, залежить від марки сплаву, товщини стінок і складності конфігурації виливків.

Застосовують також лиття під низьким тиском повітря на поверхню розплаву (рис. 3.16).

Штампування рідких сплавів. Це одна з різновидностей кристалізації металу під поршнеvim тиском 50-150 МПа (рис. 3.17). За рахунок пластичних деформацій твердіючого виливка залічуються міжкристалічні пори, стискаються газоповітряні пори, розчиняються у металі гази. Таким чином отримують більш щільніший виливок. Висока швидкість кристалізації сприяє подрібненню структури.

Усе це поліпшує властивості металу виливка: міцність підвищується в 1,2-1,5 рази, а відносне видовження та ударна в'язкість – у 2-4 рази. Виливки за механічними властивостями наближаються до поковок.

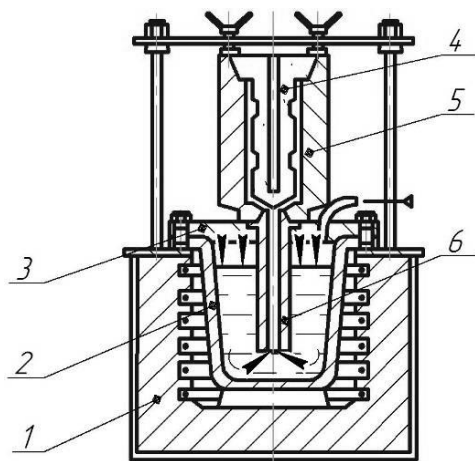


Рис. 3.16. Схема установки для лиття під низьким тиском

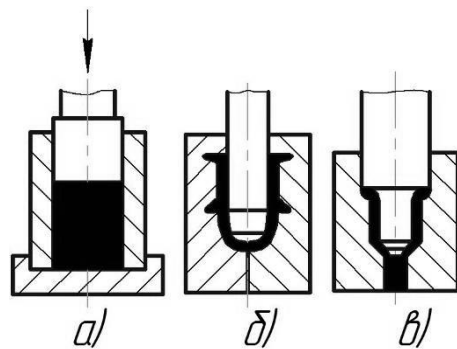


Рис. 3.17. Штампкування рідких металів

Контрольні питання для самоперевірки

1. Лиття під тиском. Загальні відомості та суть процесу.
2. Особливості формування виливків і шляхи підвищення їх якості.
3. Прес-форми та машини для лиття.
4. Застосовувані сплави і технологічні режими.
5. Основні вимоги до конструкції виливків.
6. Штампкування рідких металів та лиття під низьким тиском.

3.5. Відцентрове лиття

Суть способу , його особливості та область застосування

Суть способу відцентрового лиття (ВЛ) – це спосіб виготовлення виливків, при якому залитий у форму метал у процесі заповнення форми, тверднення та охолодження піддається дії відцентрових сил. Ці сили виникають у розплаві при заливанні у форму, яка обертається навколо

вертикальної, горизонтальної або нахиленої осі, а також одночасно навколо горизонтальної та вертикальної осей (рис. 3.18).

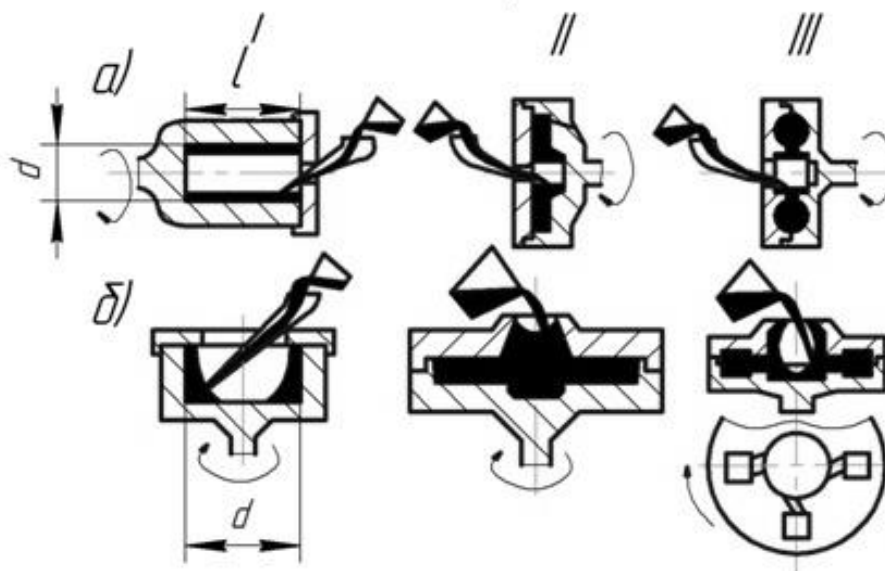


Рис. 3.18. Схеми відцентрового лиття

Горизонтальна та нахилена вісь обертання – для порожнистих виливків (труб, гільз, кілець, втулок); вертикальна – при необхідності отримання виливків без центрального отвору, фасонних виробів, котрі заливають у стояк, і при заливці у піщані форми. Найефективніше застосовувати ВЛ для порожнистих тіл обертання [3,4,103,104,111,114].

Достоїнства ВЛ: при литті порожнистих циліндрів не потрібні стержні для отримання отвору; мінімальних розхід металу на ливники; поліпшення заповнюваності форми сплавами з пониженою рідкотекучістю (титан та його сплави); отримують виливки без газових та усадочних раковин, рухлостей.

Недоліки ВЛ: під дією відцентрових сил посилюється ліквідація компонентів деяких сплавів; забруднення внутрішньої поверхні лікватами, неметалевими включеннями і, внаслідок цього, підвищений припуск на обробку отвору (більше 4 мм); неточність внутрішнього діаметра; обмежена конфігурація виливка.

Особливості формування виливка зводяться до того, що виливок твердне і охолоджується у полі відцентрових сил. Він охолоджується як з зовнішньої, так і з внутрішньої сторони за рахунок випромінювання і конвекції повітря. Завдяки цьому в металі виникають конвективні течії, коли більш холодний, тобто більш щільний метал рухається від вільної поверхні до стінки виливниці, що сприяє направленим кристалізації і отриманню щільного виливка. При цьому легкі частинки (шлаки, газові бульбашки, неметалеві частинки) спливають всередині. Разом з тим під дією відцентрових сил спостерігається ліквідація за густиною елементів у

свицевистих та алюмінієвих бронзах, а також таких елементів, як С, Р та S в чавунах. Тобто отримують різну структуру та хімічний склад виливка у поперечному перерізі.

Методи розрахунку частоти обертання n форми залежать від розміщення осі обертання, властивостей розплаву та діаметра виливка. Найменша частота обертання, при якій немає дощування, тобто відриву від потоку і падіння крапель металу, визначається з умови, що відцентрова сила на вільній поверхні повинна бути дещо більшою від сили тяжіння. Для отримання виливків за першою схемою (горизонтальна вісь обертання) використовують формулу Л.С. Константинова:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r_0}}, \text{ хв}^{-1},$$

де γ – об’ємна густина розплаву, г/см³;

r_0 – внутрішній радіус виливка, см.

Форми та машини. Форми для ВЛ виготовляють металевими та футерованими різними сполуками (піщаними), використовують також керамічні та оболонкові форми.

Металеві форми перед заливом нагрівають до 150-200° С. Після заливання їх охолоджують до 150-200° С проточною водою, у ванні або обрізкуванню. Стійкість охолоджуваних форм невелика, тому що виникають внутрішні напруги та тріщини. Наприклад, при литті труб масою до 50 кг форми витримують 400-500 заливань, а більш крупних – 200-300 заливань.

Сухі теплоізоляційні покриття форм застосовують для створення постійного теплового режиму форми, підвищення її стійкості, а при литті чавуні – для отримання виливків без вибілювання. Кварцевий пісок, фосфоритну муку та інші сполуки вводять у форму за шаблоном при її обертанні з постійною частотою. Присипка утримується відцентровими силами. При цьому припуск на обробку становить не менше 4 мм. Застосування присипки збільшує стійкість форм приблизно в 7 разів. При литті втулок діаметром до 100 мм і товщиною стінки 10-12 мм стійкість форми може бути доведена до 3500 заливів чавуну.

Футеровані форми покривають звичайною формувальною сумішшю, стержньовою та спеціальною сумішшю. Їх виготовляють ущільненням на спеціальних пуансоно-шнекових машинах накатуванням суміші на поверхню форми.

Машина для ВЛ розділяються на шпиндельні і роликові.

Шпиндельні машини застосовуються для лиття коротких втулок, гільз, кілець. Вони виконуються з горизонтальною віссю обертання.

Роликові машини застосовують для лиття чавунних труб (горизонтальні) та фасонних виливків (вертикальні).

На рис. 3.19 показана горизонтальна шпиндельна машина для лиття втулок та гільз діаметром до 300 мм, довжиною до 350 мм і масою до 100 кг. Частота обертання шпинделя: 625, 1000 та 1610 хв⁻¹: 1 – заливальний жолоб, 2 – дверці, 3 – кришка, 4 – кожух, 5 – огорожа, 6 – виливниця, 7 – опори, 8 – порожнистий вал, 9 – гальмо колодке, 10 – ступінчасті шків, 11 – електричний двигун.

При роботі на відцентрових ливарних машинах необхідно чітко виконувати правила охорони праці.

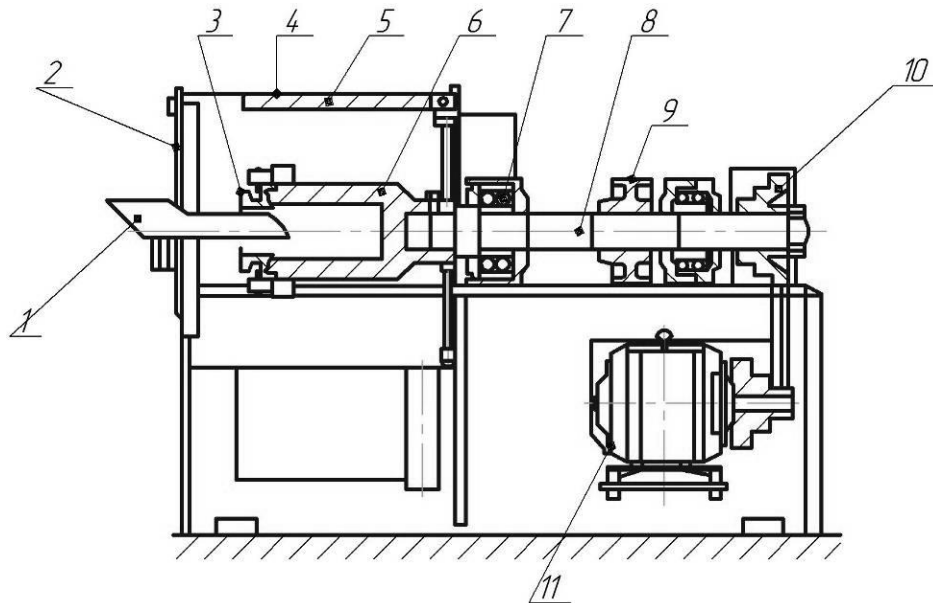


Рис. 3.19. Шпиндельна машина з горизонтальною віссю обертання

Контрольні питання для самоперевірки

1. Основні відомості та суть процесу відцентрового лиття (ВЛ).
2. Протікання процесу твердіння виливка.
3. Машина та виливниці для відцентрового лиття.
4. Основні вимоги до конструкції виливка та ливарних сплавів.
5. Достоїнства ВЛ.
6. Недоліки ВЛ.

3.6. Інші спеціальні способи лиття

Безперервне лиття

Суть способу безперервного лиття (БЛ) в тому, що рідкий метал рівномірно та безперервно заливають в охолоджувану форму – кристалізатор з одного кінця і у вигляді затверділого зливка (прутка, труби, заготовки квадратного або іншого перерізу) витягують спеціальним

механізмом з другої сторони, в результаті чого створюються умови для направленої твердіння і живлення усадки виливка. Виливки отримують щільними, без усадочних раковин і рухлостей, з високими механічними властивостями. Ллються усі матеріали [3,4,103,104,111].

Технологічний процес виконують на спеціальних ливарних машинах, котрі можуть бути з вертикальним або горизонтальним напрямом руху виливка.

На рис. 3.20 показано отримання чавунних труб діаметром до 0,8 м і довжиною до 10 м. Для труб з товщиною стінки 10-12 мм швидкість витягання складає 0,75-1 м/хв. На рис. 3.6.1: 1 – піддон, 2 – затравка, 3 – розтруб, 4 – ківш, 5 – кристалізатор (товстостінна охолоджувана форма), 6 – труба, 7 – двигун. Якість труб відповідає якості виливків, які отримують у металевих формах.

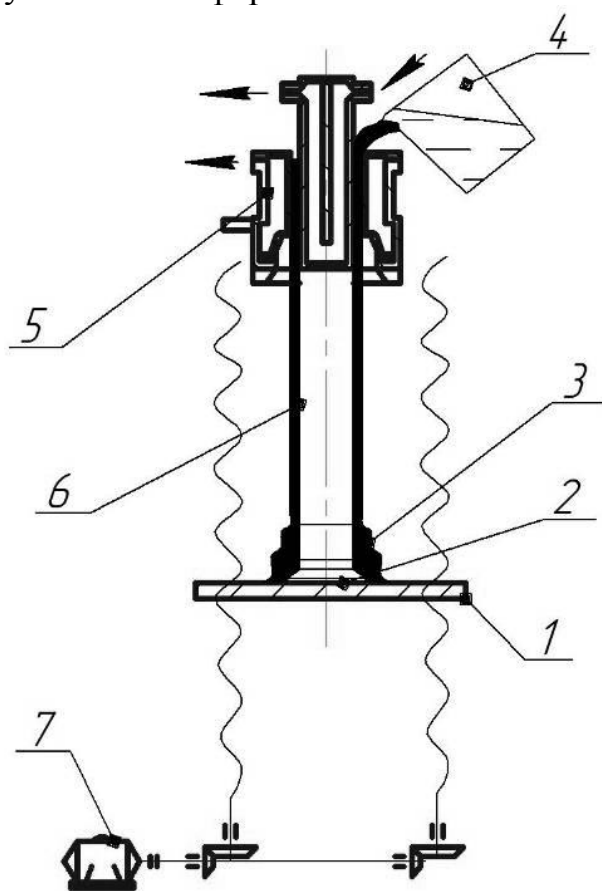


Рис. 3.20. Схема літня чавунних труб з розтрубом напівнеперервним способом

На горизонтальних установках БЛ (рис. 3.21) відливають труби, направляючі станин постійного перерізу та інші заготовки з міді, чавуну, сталі. На рис 3.21:

1 – роздавальна піч, 2 – графітовий кристалізатор, 3 – система охолодження, 4 – затравка, 5 – пристрій для витягування, 6 – виливок. Завдяки високій швидкості охолодження і безперервному живленню виливки мають підвищену щільність, добрі механічні властивості.

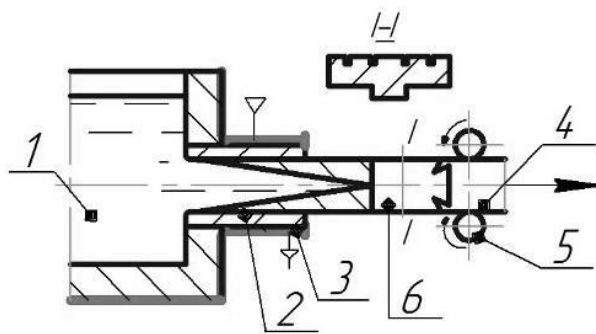


Рис. 3.21. Схема установки для горизонтального безперервного літня чавуну

Електрошлакове лиття

Електрошлакове лиття (ЕШЛ) – це спосіб отримання фасонних деталей, оснований на використанні електрошлакового переплаву (ЕШП). Спосіб розроблений в інституті ім. Є.О. Патона АНУ (рис. 3.22).

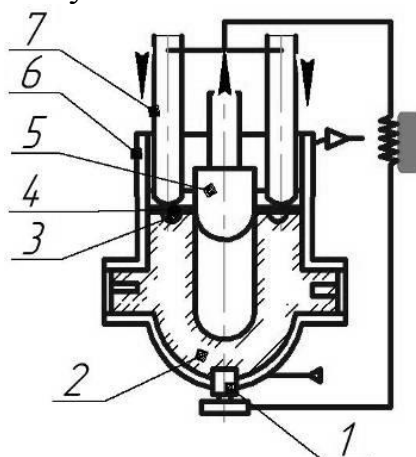


Рис. 3.22. Схема виготовлення деталі електрошлаковим литтям

Ливарна форма – це тонкостінний водоохолоджуванний кристалізатор. Він може складатися з декількох частин 5, 6, 8, що залежать від конфігурації виливка. На початку процесу лиття у формі наводять ванну 4 шлаку спеціального складу. Джерелом теплоти при ЕШЛ є шлакова ванна, котра нагрівається при проходженні через неї електричного струму, який підводять до переплавленого електрода 7, зануреного в шлакову ванну, та до затравки 1, що установлена в нижній частині форми.

При проходженні струму через шлакову ванну, яка має великий електричний опір, виділяється значна кількість теплоти і температура шлакової ванни підвищується до 1700°C і вище, що викликає оплавлення кінця електрода. Краплі рідкого металу проходять через шлак і збираються внизу, утворюючи під шлаком металеву ванну 3. Під дією кристалізатора, що охолоджується водою, метал твердіє, утворюючи високощільний виливок 2 без усадочних раковин та пористості. Протягом утворення тіла виливка переплавлені електроди опускаються. [3,4,78,103,104,110,111].

Електроди виготовляють з прокатаних прутків. Завдяки рафінуючій дії шлаку, відсутності окислення металу, що переплавляється під шаром шлаку, направленій кристалізації, вміст кисню в металі виливка знижується в 1,5-2 рази, зменшується вміст сірки та неметалевих включень у 2-3 рази. Це обумовлює високі механічні та експлуатаційні властивості виливків. Для ЕШЛ не потрібні плавильні печі, розливні ковші, формові та стержньові суміші, вихід придатного литва наближається до 100%.

ЕШЛ застосовують для виготовлення відповідальних виливків: корпусів клапанів та засувок атомних електростанцій, колінчастих валів та

шатунів суднових двигунів, корпусів посудин надвисокого тиску, прокатних валиків тощо.

Основна складність при виробництві вибілених виливків полягає в отриманні заданої товщини вибіленого шару, певної його твердості, плавного переходу структури від вибіленого шару до перлітної серцевини.

Поверхневий вибілений шар виробу повинен мати структуру „цементит + перліт”, перехідний шар – „цементит + перліт + графіт”, серцевина – „перліт + графіт”.

Глибина і твердість вибіленого шару (**ВШ**) залежить від хімічного складу та умов плавлення чавуну, температури його заливання, матеріалу форми, умов охолодження тощо. Для отримання виливків з вибіленою поверхнею використовують низьковуглецеві та низькокремністі чавуни, склад котрих залежить від вимог до вибіленого шару (С та Si сприяють графітизації).

У вибіленому виливку розрізняють три зони: I – чиста глибина вибілу – від поверхні до появи перших включень графіту; II – корисна глибина – від поверхні до шару сірого чавуну; III – загальна глибина – від поверхні до місця зникнення включень цементиту. Елементи, що входять у склад чавуну, по-різному впливають на твердість та глибину вибіленого шару.

Вміст вуглецю понад 3 % сприяє різкому зменшенню глибини вибілення. Тому регулювати глибину вибілення зміною вмісту вуглецю не можна. Це досягається шляхом зміни вмісту кремнію. У вибілених виливках вміст кремнію звичайно не перевищує 0,5-1 %, що не впливає на твердість ВШ, але зі збільшенням його вмісту до 1,5 % різко зменшується глибина вибіленого шару.

Вплив марганцю протилежний впливові кремнію, проте необхідно урахувати активну концентрацію марганцю в чавуні, тобто різницю $Mn \% - 1,75 S \%$. Якщо ця різниця менша 0,35 %, то глибина вибіленого шару зменшується, а якщо більша, то глибина вибілення збільшується.

Фосфор не впливає помітно на глибину ВШ та його твердість.

Сірка дещо зменшує твердість вибіленого шару і різко збільшує його глибину.

Спеціальні добавки, такі як Ni, Cr дещо підвищують твердість вибіленого шару. Al впливає аналогічно Si.

Напівтверді прокатні валки формують у піщаній формовій суміші, а тверді – в металевих формах (при цьому шийки під підшипники формують у землю, щоб не було вибілення).

Лиття витисканням

Суть способу (**ЛВ**) в тому, що рідкий метал (рис.3.23) заливають у метало-приймач 1 спеціальної ливарної машини (етап I), після рухому

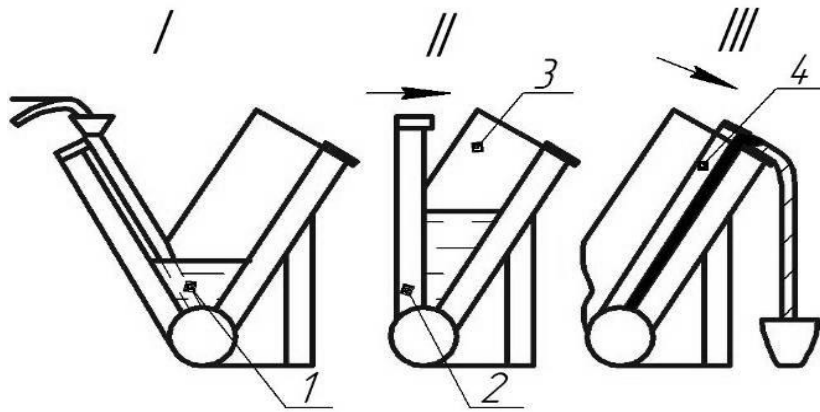


Рис.3.23. Схема процесу лиття витисканням

напівформу 2 повертають (етап II) і рідкий метал піднімається в установці, заповнюючи порожнину між напівформами та боковими щочками 3, котрі закривають установку з торців. До моменту закінчення зближення напівформ відстань між ними дорівнює товщині тіла виливка 4, а надлишок металу зливається з установки в ківш (етап III). Після затверднення виливка рухома напівформа повертається у вихідне положення.

Цей спосіб застосовують для отримання тонкостінних великогабаритних виливків панельного типу і оболонок розміром до 1000x3000 мм з товщиною стінки 2,5-5 мм (деталей холодильників, теплообмінних апаратів) з алюмінієвих сплавів АЛ2, АЛ4, АЛ9, а також з магнієвих сплавів МЛ5, МЛ6.

Машини для лиття витисканням складні, напівформи можуть бути металевими, рідше піщаними. Металеві форми перед заливанням фарбують кокільними фарбами і нагрівають до 250° С. Оптимальна швидкість піднімання металу в формі 0,5-0,7 м/с. У кінці заливання швидкість зменшується, щоб не було викидання металу.

Перспективи розвитку сучасних способів лиття

До найбільш перспективних напрямів розвитку сучасних способів лиття можна віднести указані нище.

1. Підвищення якості виливків і продуктивності на базі впровадження комп'ютерів та систем автоматизованого проектування (САП) в розробку техпроцесів та технологічну підготовку виробництва (ТПВ).
2. Впровадження ГАВ і роботів у ливарне виробництво.
3. Впровадження автоматичних формувальних ліній зі змінною оснасткою.
4. Використання роботів та маніпуляторів для складання і контролю ливарних форм, виготовлення форм та стержнів, очищення виливків і т. п.
5. Перебудова ТП так, щоб їх можна автоматизувати та впровадити ГАВ.

6. Економія формових матеріалів та їх регенерація.
7. Широке використання дугових та індукційних електропечей, щоб зекономити дефіцитний кокс.
8. Більш широке застосування відомих прогресивних способів лиття – під тиском, у кокіль та інших.
9. Охорона навколишнього середовища і праці

Контрольні питання для самоперевірки

1. Безперервне лиття.
2. Ливарни машини з вертикальним напрямом руху виливка.
3. Ливарни машини з горизонтальним напрямом руху виливка.
4. Електрошлакове лиття.
5. Переваги електрошлакового лиття.
6. Недоліки електрошлакового лиття.
7. Вибілене лиття.
8. Вплив елементів, що входять у склад чавуну, на вибілене лиття.
9. Лиття витисканням.
10. Перспективи розвитку сучасних способів лиття.

4. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ КОВАНИХ І ШТАМПОВАНИХ ЗАГОТОВОК

4.1. Основи теорії обробки металів тиском

Поняття про фізичну сутність пластичної деформації

Тому що кристалізація рідкого металу при охолодженні починається одночасно з багатьох центрів, то навколо них утворюються кристали, що складаються з великої кількості елементарних кристалічних ґраток. Ці кристали, які ростуть з різних центрів, стикаючись один з одним утворюють поверхні меж неправильної форми. Кристали металу з границями неправильної форми називають кристалітами або зернами, а сам метал – полікристалічним. Зерна в металі звичайно мають довільну орієнтацію. [3,4,6,8,46,55,59-61,63,64,66,67,88,101,120].

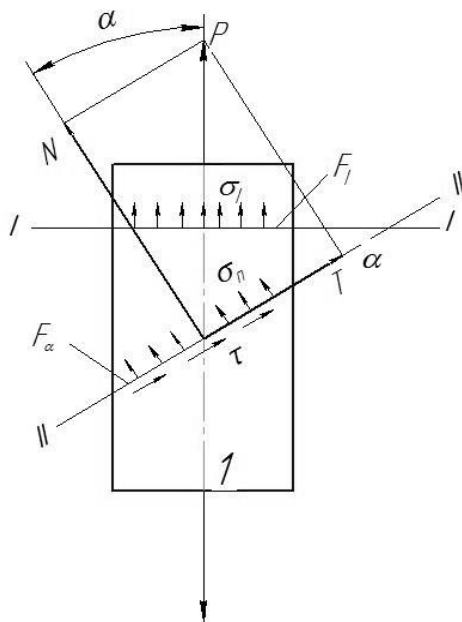


Рис. 4.1. Схема напруг, які виникають у металевому стержні під дією розтягуючої сили P

На рис. 4.1 показаний найпростіший випадок деформації розтягуванням металевго стержня. У перерізі I-I, перпендикулярному до діючої сили P, виникає нормальна напруга

$$\sigma_1 = P / F_1.$$

Розкладемо силу P на складові, що діють у нахиленому перерізі II-II, який розміщений під кутом α до перерізу I-I. Нормальна складова $N = P \cos \alpha$, а дотична складова $T = P \sin \alpha$.

Площа нахилоного перерізу $F_\alpha = F_1 / \cos \alpha$. Визначимо нормальну σ_n і дотичну τ напруги в нахилений площині:

$$\sigma_n = \frac{N}{F_\alpha} = \frac{P \cos \alpha \cdot \cos \alpha}{F_1} = \sigma_1 \cos^2 \alpha;$$

$$\tau = \frac{T}{F_\alpha} = \frac{P \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{F_1} = \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\alpha.$$

Тобто максимальні зсувні напруги завжди виникають у площадках, котрі нахилені під кутом 45° до осі зразка, цебто $\tau_{\max} = \sigma_1 / 2$, а максимальна нормальна напруга $\sigma_{n\max} = \sigma_1$ виходить при значенні кута $\alpha = 0^\circ$.

Пластична деформація металу стержня почнеться тільки в тому випадку, коли зсувна дотична напруга τ досягне певної критичної величини, що залежить від виду і якості металу. При цьому пластична деформація здійснюється шляхом ковзання і двійникування (рис.4.2).

Ковзання – це зміщення однієї частини кристаліту відносно іншої. Площина I-I, по якій проходить зсув однієї частини кристаліту відносно іншої, називається площиною ковзання. У кристалічній ґратці ковзання проходить по площинах з найбільшою щільністю розміщення атомів.

Двійникування – зміщення частин кристаліту відносно площини двійникування II-II у положення дзеркального відображення. Після двійникування частини кристаліту розміщені симетрично відносно площини двійникування.

Переважає того або іншого механізму пластичної деформації залежить від природи металу, типу кристалічної ґратки, а також від умов деформації (температури та швидкості).

У ґратках кристалітів завжди є різні недосконалості, наприклад точкові дефекти: вузли ґраток, в яких відсутні атоми, і атоми впровадження, що розміщуються між атомами у вузлах ґратки. Крім них, у ґратці кристаліту можуть бути лінійні дефекти – дислокації, коли в ґратці відсутній ряд атомів, розміщених на одній лінії.

Пластична деформація виконується за рахунок переміщення дислокацій уздовж площини ковзання шляхом послідовного переміщення один за одним атомних рядів (рис. 4.3). У результаті верхня частина кристаліту зміщується відносно нижньої частини на одну міжатомну відстань. Такий рух лінійних дислокацій уздовж площини ковзання забезпечує протікання пластичної деформації під впливом менших напруг, ніж потрібно би для деформації кристаліту при відсутності дислокацій.

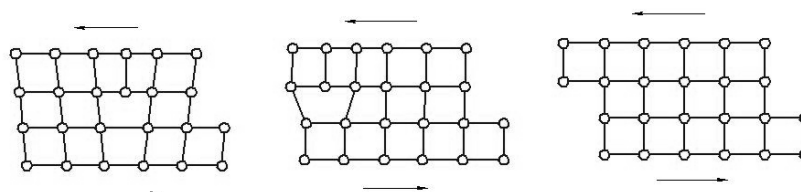


Рис. 4.3. Схема переміщення атомів при русі дислокації на одну міжатомну відстань

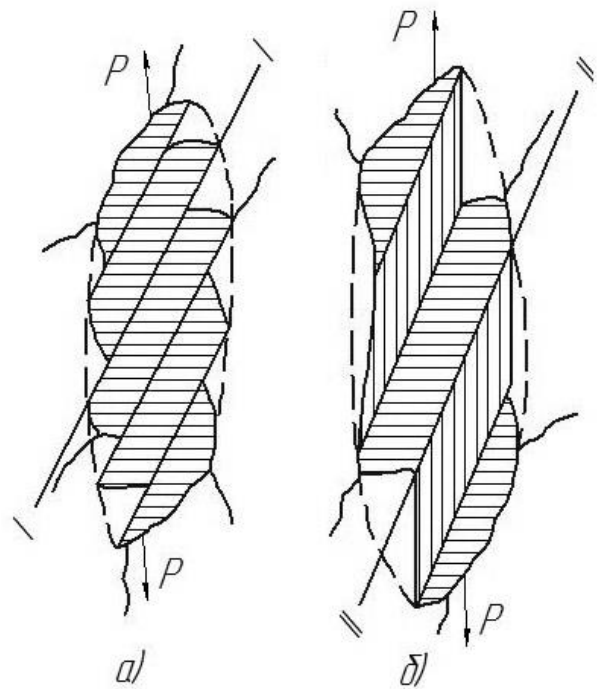


Рис. 4.2. Схема пластичної деформації кристаліту:

- а) – ковзанням;
- б) – двійникуванням

У металів, котрі мають полікристалічну будову, пластична деформація має деякі особливості у порівнянні з пластичною деформацією окремо взятого зерна або монокристалу.

Зерна в металі мають різне орієнтування. У структурі металу завжди є мікропори, неметалеві включення та інші дефекти. Деформування кожної ланки завжди обмежено впливом сусідніх зерен. Спочатку пластична деформація починається з окремих зерен (рис. 4.4, а), площини ковзання котрих співпадають з напрямом максимальних дотичних напруг. Одночасно проходить поворот і ковзання нових зерен у положення, сприятливе для деформації (рис. 4.4, б), і зерна витягуються в напрямі інтенсивної течії металу (рис. 4.4, в).

При холодній обробці тиском (при кімнатній температурі) переважає внутрішньозерна деформація, а при гарячій обробці – посилюється роль міжзернової деформації. Пояснюється це тим, що в нагрітому металі зерна міцніші, ніж їх границі. Холодна і гаряча обробка по-різному впливають на структуру та властивості металу.

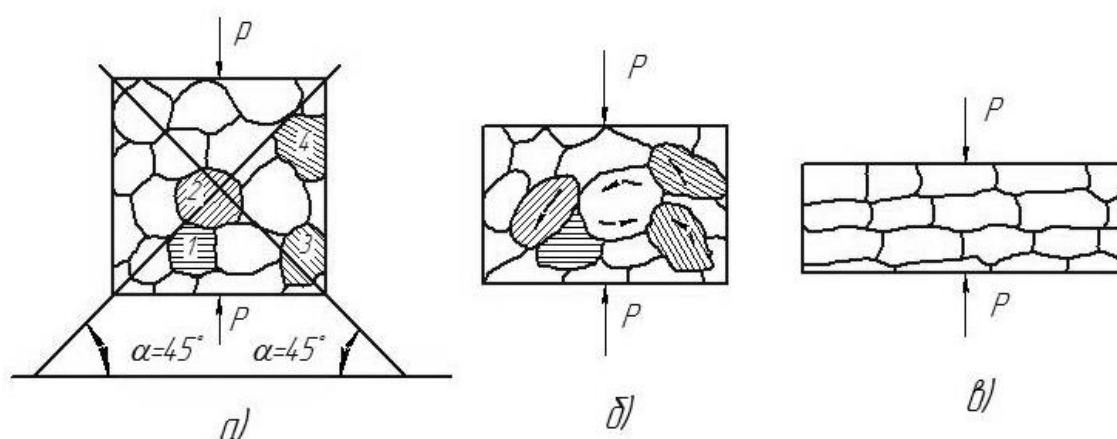


Рис. 4.4. Схеми розвитку пластичної деформації полікристалу:
а – деформація зерен 1, 2, 3, 4, у яких площини ковзання орієнтовані під кутом 45° до напрямку зусилля; б – поворот та ковзання нових зерен у положення, яке сприятливе для деформування; в – зерна, які витягнені в напрямі інтенсивної течії металу

Абсолютна і відносна деформація. Уковування

Для кування, гарячого та холодного штампування найбільш характерною є пластична деформація стискання. Абсолютна деформація при осадці (рис. 4.5,б) $\Delta H = H - h$. Ця величина не характеризує ступінь дії деформації на метал. Відносна деформація $\epsilon = [(H - h) / H] 100 \%$ характеризує ступінь дії деформації на метал.

Для оцінки пластичності металу при куванні і гарячому об'ємному штампуванні виконують випробування на осадку в гарячому стані. Зразки

з $h = 2 d$ осаджують з різною деформацією. Деформацію, при якій на зразку з'являються при даній температурі тріщини, називають граничною деформацією. За результатами досліджень у координатах „температура – відносна деформація” будують криву технологічної пластичності сталі.

Для операції протягування (рис. 4.5, а) при куванні величина пластичної деформації металу характеризується уковуванням

$$Y = F_H / F_K,$$

де F_H – площа поперечного перерізу заготовки;

F_K – площа поперечного перерізу поковки.

Витяжка μ при протягуванні представляє собою відношення довжини поковки L_K до довжини заготовки L_H . Якщо поковка має по всій довжині однаковий поперечний переріз, то витяжка і уковування рівні між собою.

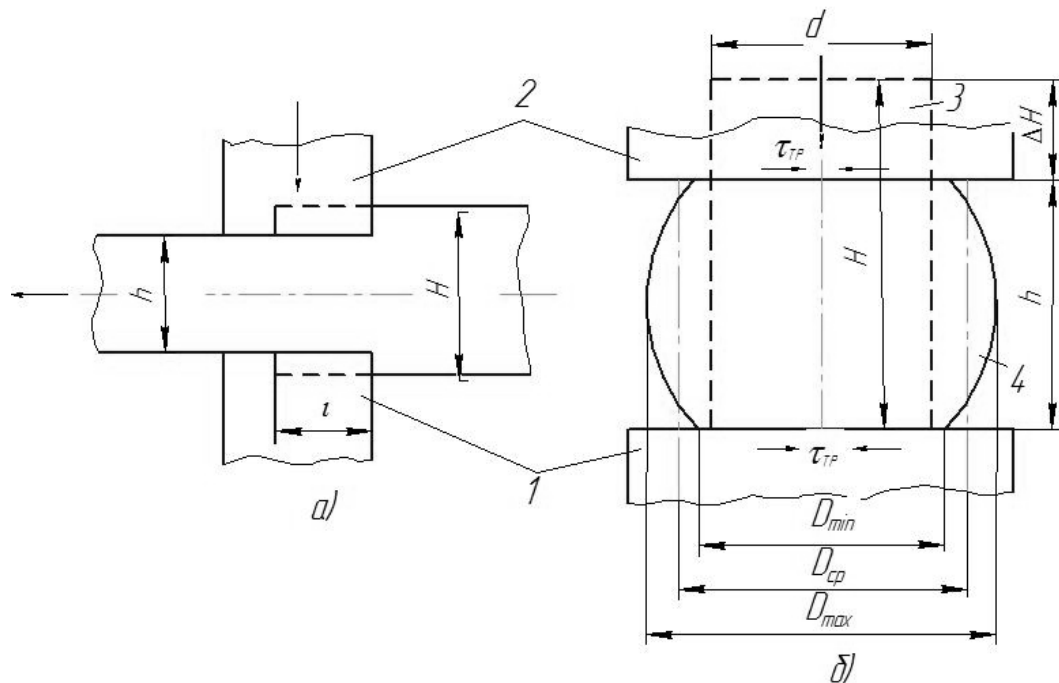


Рис. 4.1.5. Операції кування:

а – протягування; б – осадка; 1, 2 – нижній та верхній бойки молота або преса; 3, 4 – заготовка до та після осадки; H, h – висота заготовки до та після деформації; τ_{TP} – сили контактного тертя

Напружено-деформований стан металу при куванні і об'ємному штампуванні

Під дією прикладених до тіла зовнішніх сил у ньому виникають внутрішні сили. У деякій безконечно малій площадці плоского перерізу, що прямує в граничному положенні перетворитися в точку (рис. 4.6, а), величина цих сил характеризується величиною і напрямом повного напруження σ . Розкладаємо σ на дві складові, одна з котрих перпенди-

кулярна до розглядуваного перерізу і називається нормальною напругою σ_n , а друга лежить у площині перерізу і називається дотичною напругою τ .

Якщо вісь Z сумістити з нормаллю до площадки (тобто з σ_n), то τ буде лежати паралельно до площини XOY і її можна спроектувати на осі X , Y і отримаємо τ_x і τ_y . У цьому випадку напружений стан у точці характеризується нормальною і двома дотичними складовими напруження.

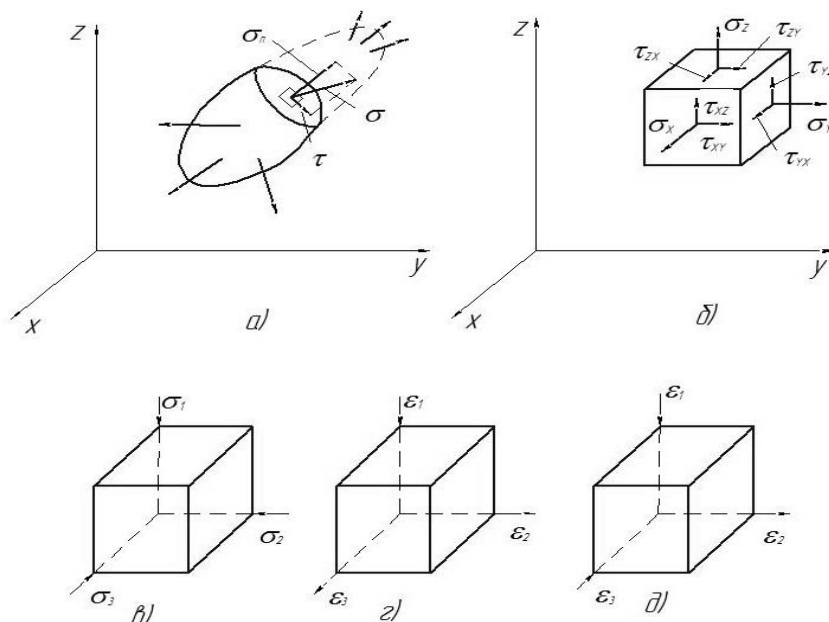


Рис. 4.6. Схеми:

а – розкладання рівнодіючої напруг у перерізі тіла; б – напруг на гранях елементарного паралелепіпеда; в – напруженого стану металу при куванні, об’ємному штампуванні, пресуванні та видавлюванні; г – головних деформацій при куванні та об’ємному штампуванні; д – головних деформацій при пресуванні та видавлюванні

Якщо в тілі, на яке діють зовнішні сили, виділити елементарний паралелепіпед (рис. 4.6, б), то на гранях, перпендикулярних до осей X , Y , Z , з’являться три нормальні напруги ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) і по дві складові дотичних напруг ($\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}, \tau_{yx}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$), котрі розміщені у площині самих граней. Тому, що елементарний паралелепіпед повинен знаходитися в умовах рівноваги, то при цій умові є попарна рівність складових дотичних напруг ($\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}$). З цього виходить, що напружений стан будь-якої точки деформованого тіла визначається шістьма компонентами, з котрих три нормальні $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ і три дотичні $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ напруги.

З теорії обробки металів тиском відомо, що осі координат, які називають головними, можуть бути вибрані так, що на площадках, перпендикулярних до цих осей, будуть діяти тільки нормальні напруги, а

дотичні напруги будуть рівні нулеві. У цьому випадку напружений стан визначається тільки трьома нормальними напругами, котрі називаються головними напругами і позначають відповідно σ_1 , σ_2 , σ_3 . З них найбільша σ_1 , а найменша σ_3 .

Графічне зображення наявності і напрямів головних напруг у деякій точці деформованого тіла називають схемою головних напруг. Така схема представляє собою кубик з векторами головних напруг, що діють на його грані. Величину напруг на схемах не указують. Напружений стан у точці може бути лінійним, коли дві головні напруги дорівнюють нулеві, плоским, коли одна з головних напруг дорівнює нулеві, і об'ємним, коли всі три головні напруги відмінні від нуля. Усього є дев'ять схем напруженого стану: дві лінійні, три плоскі і чотири об'ємні.

Напружений стан при куванні і об'ємному штампуванні характеризується схемою всестороннього нерівномірного стискання, наведеного на рис 4.6, в, з якого видно, $\sigma_1 \neq 0$, $\sigma_2 \neq 0$, $\sigma_3 \neq 0$, і що $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$. При осадці циліндричних зразків $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$. В умовах всестороннього нерівномірного стискання стискаючі напруги перешкоджають порушенню міжкристалічних зв'язків, що позитивно впливає на процес обробки металів тиском.

Схема напруженого стану впливає на пластичність металу, поліпшуючи або погіршуючи її. На величину всіх головних напруг можуть суттєво впливати сили тертя, що виникають при контакті поверхні заготовки з інструментом, а також форма інструмента.

Деформований стан металу в безконечно малому об'ємі M (точці) характеризується схемою головних напруг. При довільній системі координат тіло отримує в загальному випадку лінійні деформації ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z і кутові деформації зсуву γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zx} навколо осей X , Y , Z . Сукупність цих деформацій визначає деформований стан у розглядуваній точці. Для кожної точки деформованого тіла можна вибрати таку систему координат, в якій деформація зсуву γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{zx} відсутня. Осі такої системи координат називають головними осями деформацій. Їх позначають індексами 1, 2, 3.

У цьому випадку деформований стан у точці характеризують лінійні деформації ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 , які називають головними деформаціями. Деформаціям, що характеризують видовження, приписують знак „+”, а що характеризують стискання – знак „-”.

Величина головної деформації по одній з осей завжди дорівнює сумі головних деформацій по двох других осях, взятих зі зворотним знаком, і, відповідно, сума всіх трьох головних деформацій дорівнює нулеві. Цей висновок витікає з умови нестискування металу. Тому є всього три схеми головних деформацій. За першою з них розміри тіла в одному напрямі зменшуються, в двох інших – збільшуються (рис. 4.6, г). Ця схема

характеризує деформований стан металу при куванні і об'ємному штампуванні, коли головна деформація ϵ_1 , що діє по вертикальній осі, від'ємна, а головні деформації розтягування, що діють по двох інших осях, додатні. За другою схемою розміри тіла в одному напрямі не змінюються, зменшуються в другому і збільшуються в третьому напрямі. Це так звана схема плоскодеформованого стану. За третьою схемою розміри тіла збільшуються в одному напрямі за рахунок зменшення в двох інших.

Сукупність схем головних напруг і головних деформацій характеризує поведінку металу при обробці тиском. Наприклад, пресування або видавлювання металу характеризується такою же схемою напруженого стану, як при куванні і штампуванні (рис. 4.6, в), а схема головних деформацій (рис. 4.6, д) характеризується двома деформаціями стискання і однією деформацією розтягування. Порівнювані процеси при однаковій схемі головних напруг мають різні схеми головних деформацій. При куванні і штампуванні деформації розтягування мають більший вплив, у зв'язку з чим метал має меншу пластичність, ніж при пресуванні.

Пластичність і опір металу деформації

Вони залежать від ряду факторів: природи матеріалу, його хімічного складу, структури, механічних властивостей, температури нагрівання, швидкості і ступеня деформації, а також від схеми головних напруг. За природою мідь більш пластична ніж залізо і т.п. Чисті метали, як правило, мають більшу пластичність, ніж їх сплави, тому що в сплавах часто утворюються нові структурні складові і хімічні з'єднання, котрі можуть знизити пластичність.

Пластичність сплаву у великій мірі залежить від його хімічного складу (наприклад, маловуглецева сталь більш пластична, ніж високо- вуглецева). Пластичність литого крупнозернистого металу завжди нижча, ніж деформованого, який має дрібнозернисту структуру. Це пояснюється великою різницею властивостей зерен литого металу і зерен між кристалітних дефектних прошарків. Понижують пластичність також пори, газові бульбашки, крихкі неметалеві включення, макро- і мікро тріщини. Більшу пластичність мають метали, в котрих різниця між значеннями границі міцності σ_B і границі текучості σ_T більша.

З підвищенням температури нагрівання пластичність металу, що визначається за величиною відносного видовження, зростає, а границя міцності, що характеризує опір металу деформації, зменшується (рис. 4.7). Як видно з графіків, для вуглецевих сталей в інтервалі температур 100-300° С, що називається зоною синьоламкості, показники пластичності дещо зменшуються, а показники міцності збільшуються.

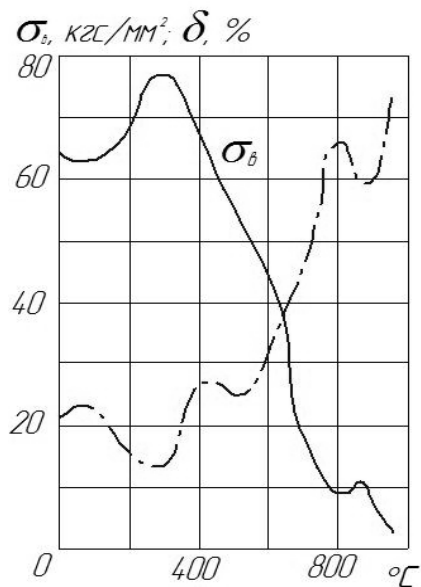


Рис. 4.7. Вплив температури на відносне видовження та границю міцності σ_b сталі

Деяке зниження пластичності спостерігається також в області фазових перетворень, а різке зниження її при високих температурах зв'язано з надмірним ростом зерен (перегрівом) і окисленням границь зерен (перепалом) металу.

Пластичність металу зі збільшенням швидкості деформації звичайно зменшується внаслідок того, що в ньому не встигають здійснитися процеси зменшення міцності. Середня швидкість деформації представляє собою відношення деформації ϵ до часу t , протягом якого вона виконується.

При дуже високих швидкостях деформації пластичність металу знову зростає, що пояснюється великою роботою деформації, яка переходить в теплоту, котра не встигає розсіятись і приводить до розігрівання металу, що деформується.

Схема головних напруг має вирішальне значення на пластичність металу. Так при пресуванні метал має більшу пластичність, ніж при куванні і штампуванні.

Звідси можна зробити висновок, що пластичність є станом металу в процесі обробки тиском.

Вплив холодної і гарячої пластичної деформації на структуру і властивості металу

У результаті холодної пластичної деформації метал зміцнюється. Міцнісні властивості металу (границя міцності, границя текучості і твердість) з ростом ступеня деформації збільшуються, а пластичні властивості (відносне видовження, звуження і ударна в'язкість) зменшуються (рис. 4.8.). Холодна пластична деформація супроводжується викривленням кристалічної ґратки металу, утворенням нових дислокацій, дробленням зерен, їх сплюсненням і видовженням у напрямі найбільшої течії металу.

При нагріванні зміцненого металу до температури $(0,25 \dots 0,35) T_{пл}$ ($T_{пл}$ — абсолютна температура плавлення за шкалою Кельвіна) виникає явище, яке називають відпочинком або поворотом. Воно забезпечує часткове знімання залишкових напруг, невелике відновлення пластичних властивостей і підвищує опір металу корозії.

При нагріванні зміцненого чистого металу до температури понад $0,4 T_{пл}$ протікає процес рекристалізації – зародження і ріст нових зерен. У результаті цього процесу проходить перегрупування атомів, зникають викривлення в ґратках і залишкові напруги. Після рекристалізації метал зменшує свою міцність і відновлює свої початкові властивості. Обробка металів тиском, що виконується при температурі нижчій від температури рекристалізації, називається холодною, а вищій – гарячою.

При гарячій обробці в металі одночасно проходять процеси підвищення і зниження міцності. При цьому швидкість процесу зменшення міцності, викликаного рекристалізацією, звичайно значно перевищує швидкість процесу зміцнення. При цьому метал отримує рівновісну неорієнтовану структуру.

Величина зерна металу залежить в основному від температури і відносної деформації. Відносна деформація ε , що звичайно дорівнює 5 – 10 % називається критичною, тому що при ній отримують максимальну величину зерна. Оброблювати метал у зоні критичних деформацій не рекомендується.

При гарячій обробці тиском зливків руйнується дендритна структура металу, заварюються дефекти (мікропори і неокислені газові пузири), дробляться і витягуються окремі кристаліти і неметалеві включення. Структура металу з розміщеними уздовж його течії витягнутими, а іноді і розірваними на окремі ланцюжки, неметалевими включеннями називається волокнистою.

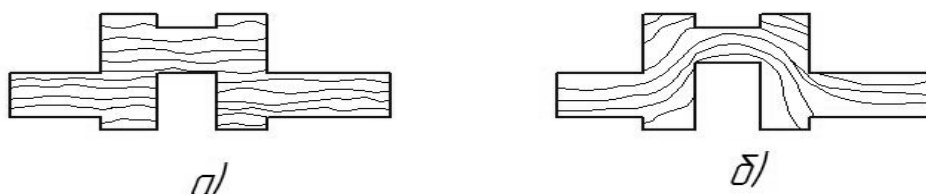


Рис. 4.9. Розміщення волокон у колінчастому валі, який виготовлений:
а – різанням; б – куванням

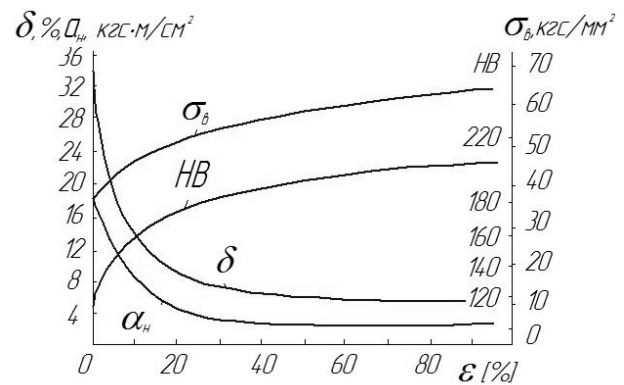


Рис. 4.8. Вплив відносної деформації ε при холодній деформації на механічні властивості низьковуглецевої сталі

Вона не змінюється при наступній обробці, а повторна обробка тиском може тільки змінити напрям волокон. Результатом такої структури є анізотропність механічних властивостей металу уздовж і уперек волокон. При обробці різанням небажано перерізати волокна, тому що це знижує міцність деталей. З двох колінчастих валів (рис. 4.1.9) міцнішим буде кований.

Основні закони пластичної деформації і роль зовнішнього тертя та мастила

Процесові пластичної деформації металів і сплавів властиві деякі закономірності.

Закон сталості об'єму. Об'єм тіл до деформації дорівнює об'ємові його після деформації. Цей закон використовують для розрахунку об'єму і розмірів вихідної заготовки, розрахунку переходів і зміни розмірів заготовки в процесі деформації.

Закон найменшого опору. Кожна частинка тіла, що деформується, переміщується завжди в напрямі найменшого опору. У зв'язку з цим, наприклад при осадці квадратної заготовки, найменший опір течії металу буде в напрямках, перпендикулярних до її сторін, а найбільший – в напрямі діагоналей. Тому при осадці квадратний переріз послідовно перетворюється в циліндр (рис. 4.10). Практичне значення цього закону в тому, що він дозволяє урахувати напрям найбільш бажаної течії металу, визначити, яка частина порожнини штампа заповниться швидше, який поперечний переріз заготовки буде після обробки.

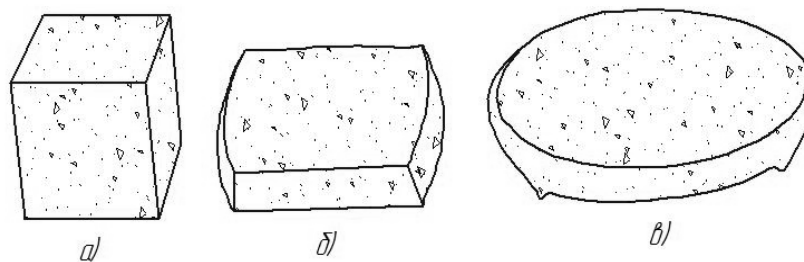


Рис. 4.10. Перетворення кубика в циліндр при осадці:

а – вихідний кубик; б, в – стадії перетворення

Закон додаткових напруг, який сформулював акад. С.І. Губкін. При будь-якій пластичній зміні форми в шарах і елементах тіла, що намагається більше змінити розміри, виникають додаткові напруги, знак котрих відповідає зменшенню розмірів, а в шарах і елементах тіла, що намагається менше змінити розміри, виникають додаткові напруги, знак яких відповідає збільшенню розмірів. Поява додаткових напруг зв'язана з нерівномірністю, котра зростає зі збільшенням сил тертя на контактній

поверхні заготовки з інструментом. Структурна неоднорідність заготовки, нерівномірність нагрівання її частин також приводять до нерівномірної деформації.

Додаткові напруги розтягування можуть викликати розриви внутрішніх шарів.

Додаткові напруги, котрі зрівноважуються між окремими зонами деформівного тіла, називаються додатковими напругами першого роду, напруги між окремими зернами – додатковими напругами другого роду, напруги всередині зерна – додатковими напругами третього роду.

Напруги, що залишаються після деформації, називаються залишковими напругами. У відповідності до додаткових напруг, що викликали їх, вони також бувають трьох родів. Залишкові напруги в заготовці настільки більші, наскільки більша її маса, складніша конфігурація і хімічний склад сплаву. Великі залишкові напруги приводять до жолоблення та поводки поковок. Якщо величина цих напруг сягає границі міцності, поковка може зруйнуватися. Для зменшення залишкових напруг поковки піддають термічній обробці.

На границі контакту деформівного тіла з інструментом завжди з'являються сили тертя, обумовлені шорсткістю поверхонь. Контактні сили завжди протилежні до напрямку течії металу. У міру віддалення від місця контакту їх вплив зменшується (тому при осадці циліндра утворюється бочкоподібність).

Контактні сили тертя (за виключенням окремих випадків) при куванні і штампуванні шкідливі і їх намагаються зменшити. Ці сили перешкоджають заповненню штампа металом, на переборювання цих сил витрачається додаткова робота.

Сили тертя зменшують підвищенням якості робочих поверхонь інструмента (бойків і штампів), використанням технологічних мастил, зменшенням окалиноутворення на сталевих заготовках, тому що окалина на поверхні контакту діє як абразивний матеріал, сприяючи швидкому зносові інструмента.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Фізична сутність пластичної деформації.
2. Абсолютна і відносна деформація.
3. Напружено-деформований стан металу при пластичній деформації.
4. Пластичність та опір металу деформації.
5. Вплив деформації на структуру і властивості металу.
6. Основні закони пластичної деформації.

4.2. Фізичні основи нагрівання металу і температурний інтервал обробки

Загальні положення

Призначення нагрівання – змінити механічні властивості металу, надати йому високої пластичності і зменшити опір деформації. Це складна і відповідальна операція. При гарячій деформації опір металу деформації в 10-20 разів менший, ніж при холодній. Теплова дія на метал приводить до майже повної втрати ним пружних властивостей, до розчинення карбідів, котрі сприяють і прискорюють дифузійні і релаксаційні процеси. У процесі гарячої обробки тиском виникають і знімаються напруження за рахунок повороту і рекристалізації (безпосередньо у процесі деформації і після її закінчення).

У процесі нагрівання змінюються також фізичні властивості металу: теплопровідність, теплоємність, електропровідність, магнітні властивості, а також розміри і колір металу.

Передача теплоти від поверхні заготовки до середини визначається теплопровідністю, теплоємністю і щільністю.

Теплопровідність – це здатність речовини проводити тепло від більш нагрітих частин до менш нагрітих. Коефіцієнт теплопровідності показує, яка кількість джоулів проходить за одну годину через 1 см² перерізу тіла при різниці температури в 1 К на відстані 1м. Для чистого заліза коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 86$ Вт/мК, для легованої сталі 3Х2В8 $\lambda = 10,6$ Вт/мК.

Зміна теплопровідності при нагріванні металу має велике практичне значення для призначення технологічних процесів нагрівання заготовок. Метали і сплави, котрі мають велику теплопровідність, можна нагрівати з великою швидкістю, тому що заготовка прогрівається швидко.

Теплоємність – це кількість теплоти, що поглинається тілом при нагріванні на 1 К. Вона залежить від хімічного складу і температури. Наскільки вища теплоємність металу, настільки більше потрібно часу для вирівнювання температури по перерізу заготовки або зливка. З підвищенням температури теплоємність вуглецевих сталей збільшується. Теплоємність багатьох легованих сталей нижча, ніж вуглецевих.

Щільністю речовини називають масу, що припадає на одиницю об'єму. З підвищенням щільності час, необхідний для вирівнювання температури по перерізу заготовки, збільшується.

Для кожного металу і сплаву температуру нагрівання перед куванням та штампуванням установлюють у залежності від їх хімічного складу, вимог до механічних властивостей металу поковок і режимів наступної термообробки.

Температури, при яких метал знаходиться в найбільш пластичному стані і має мінімальний опір деформації при куванні і штампуванні, називають температурним інтервалом кування. Практично цей інтервал установлюють за діаграмами стану металів і сплавів, перевіряють його шляхом комплексу лабораторних досліджень (дослідження на пластичність вільною осадкою, крученням і ударним вигином, визначення опору деформації, критичної температури росту зерна та інше).

Зміну пластичності і опору деформації сталі в залежності від температури можна пояснити фазовими перетвореннями, що проходять у металі. Структуру і температуру фазових перетворень при різних температурах легко визначити за діаграмою стану (рис. 4.11).

Найбільш пластичною структурою є структура аустеніту. При наявності двофазної структури пластичність знижується. У маловуглецевих і вуглецевих сталей при температурі 1100 – 1200° С структура чисто аустенітна. При високій пластичності температуру 1200° С можна прийняти як верхню границю температурного інтервалу кування для вуглецевої сталі.

У високовуглецевої сталі при температурі 1100° С структура двофазна (аустеніт і цементит), причому цементит утворює крихку сітку на границях зерен. Для підвищення пластичності сталі необхідно цю цементитну сітку роздробити для того, щоб цементит утворив окремі зерна в металі заготовки. При цьому твердість та міцність металу залишаться високими.

Верхню межу температур кування для високовуглецевих сталей доцільно приймати ~1100° С, а кування виконувати з застереженням, враховуючи, що пластичність знижена внаслідок двофазної структури.

Діаграма стану допомагає вибрати також нижню межу температур кування, яка повинна знаходитися вище температур фазових перетворень. Однак низьковуглецеві сталі можна кувати і при структурі ферит + аустеніт внаслідок відносно високої пластичності. Заевтектоїдні сталі мають нижню границю температур кування в зоні аустеніт + цементит. Ця температура повинна бути по можливості більш низькою, щоб не утворилася цементитна сітка.

При установленні нижньої межі температур кування необхідно врахувати масу поковки, наявність або відсутність наступної термічної обробки, спосіб охолодження. У табл. 4.1 наведені застосовувані у промисловості температурні інтервали початку і кінця деформації сталі і кольорових сплавів.

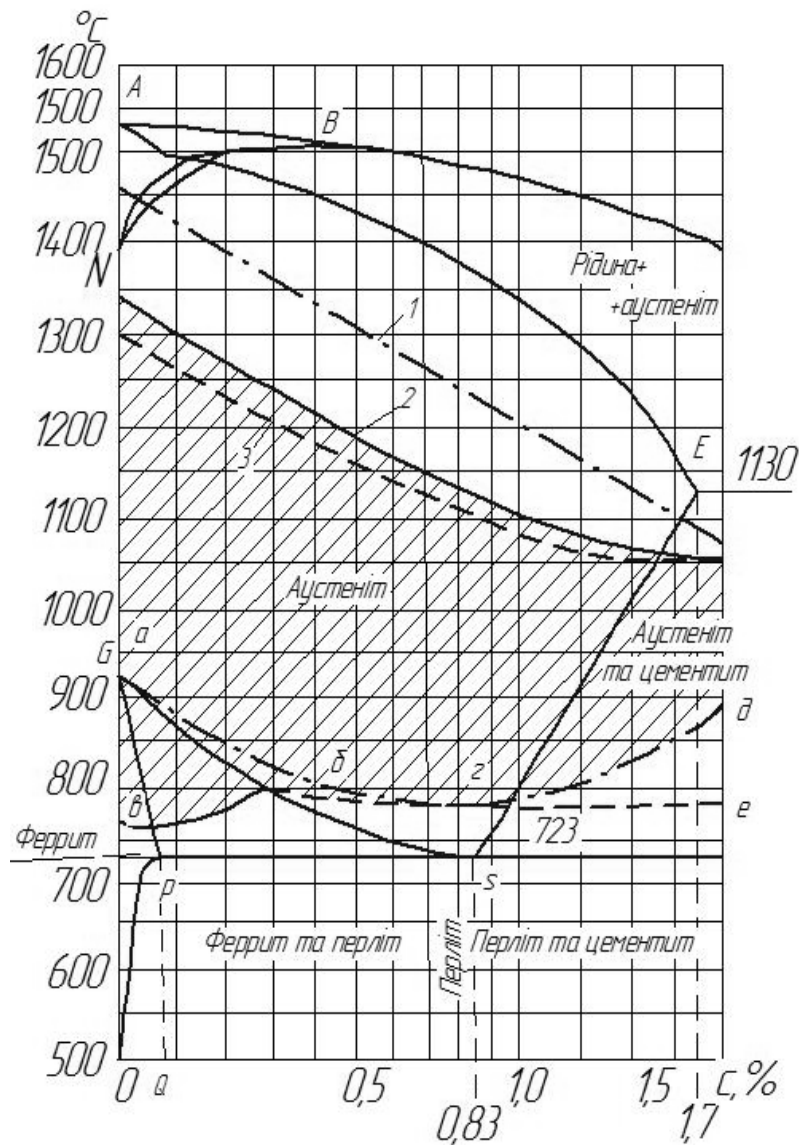


Рис. 4.11. Діаграма стану залізовуглецевих сплавів та температурні інтервали кування і штампування:

1 – верхня межа температур кування при швидкісному нагріванні; 2 – те ж, для зливків; 3 - те ж, для великих заготовок; а, б, в – нижні межі температур кування для доєвтектоїдної сталі; а, б, г – те ж, для низько-вуглецевої сталі; г, д, е – те ж, для заєвтектоїдної сталі

Таблиця 4.1

Температурні інтервали деформації сплавів, °С

Сплави	Початок	Кінець
Сталь	1050-1350	700-950
Мідні	750-850	600-700
Алюмінієві	470-500	350-400
Магнієві	370-430	300-350
Титанові	930-1150	800-900

Основними видами дефектів і браку при нагріванні металу перед куванням і штампуванням є утворення окалини, знеуглецювання, недогрів та деякі види перегріву металу.

Недогрів. При недостатній видержці або при заниженій температурі нагрівання метал не встигає нагрітися по всьому перерізу, в результаті чого серцевина заготовки має більш низьку пластичність, ніж зовнішні шари. Зниження пластичності металу при деформації викликає великі внутрішні напруження в заготовці, котрі приводять до утворення тріщин.

Перегрів – це явище швидкого росту зерна, яке проходить при нагріванні металу вище певних температур. Перегрів металу характеризується крупнозернистою будовою. У процесі деформації перегрітої сталі можливе утворення відманштетової структури, що понижує якість сталі.

Відманштетова структура – це структура, що складається з крупних зерен перліту і фериту. Причому феритні виділення мають вигляд довгих пластин (голок), котрі прорізають зерна перліту. Перегрів сталевих заготовок може бути виправлений наступною термообробкою (відпалом або нормалізацією) або додатковою деформацією.

Перепад утворюється внаслідок високого нагрівання металу у печі до температури, яка близька до точки плавлення. У результаті цього значно окислюються границі зерен (іноді до оплавлення), що приводить до втрати пластичності металу і він стає крихким. Перепалені заготовки є остаточним браком.

Утворення окалини – це результат хімічного з'єднання металу з киснем повітря. Швидкість утворення окалини залежить від складу і температури пічних газів, температури металу, часу видержки у печі, хімічного складу металу. Утворення окалини прийнято називати вигаром металу. Втрати металу у вигляді окалини в металургійному виробництві складають ~4%, для полумєневих печей, котрі працюють на мазуті і природному газі, вигар складає 2,5-4 % від маси нагріваного металу. Зменшити втрати від вигару можна швидкісним нагріванням металу, нагріванням у печах з неокислювальною (контрольованою) атмосферою і застосуванням при нагріванні спеціальних захисних покриттів.

Знеуглецювання поверхневого шару проходить при високих температурах нагрівання сталевих заготовок; при цьому у поверхневому шарі заготовок, що знаходиться під шаром окалини, вигорає частина вуглецю. Глибина знеуглецьованого шару складає 0,2-2 мм. Щоб попередити утворення дефектного шару, в робочому просторі печі створюють неокислюючу атмосферу.

Тривалість нагрівання – це час, котрий необхідно затратити на якісне нагрівання заготовок у печі до кінцевих температур. Вона залежить від

форми і розмірів заготовок, необхідної температури нагрівання, фізичних властивостей металу, умов нагрівання і способу розміщення заготовок у робочій камері печі.

У залежності від допустимої швидкості нагрівання визначається і його тривалість. Є багато способів і формул. Так за Доброхотовим час нагрівання

$$\tau = \alpha k D \sqrt{D},$$

де τ – час нагрівання, г; α – поправочний коефіцієнт, що враховує спосіб укладки заготовок на поді печі (рис. 4.12); k – коефіцієнт, який приймають для вуглецевої сталі рівним 10, для легованої – 20; D – діаметр або товщина заготовки, м.

На практиці для визначення часу нагрівання дрібних і коротких заготовок користуються довідковими таблицями.

Режим нагрівання заготовок великого перерізу, а також заготовок з малопластичної високолегованої сталі, може бути ступінчастим (за декілька етапів).

Одноступінчастий – застосовують для заготовок малого перерізу.

Двоступінчастий – включає два етапи: нагрівання при низьких температурах (до 650-850° С) і нагрівання при високих температурах (тобто нагрівання до кінцевої температури при найвищій технічно можливій швидкості, не побоюючись появи тріщин).

Триступінчастий – складається з трьох етапів: повільного нагрівання при низьких температурах, прискореного нагрівання при високих температурах і видержці при кінцевій температурі з метою вирівнювання її по всьому перерізу заготовки. Перший та другий етапи разом займають ~80 % загального часу нагрівання.

Для інтенсифікації процесу нагрівання застосовують швидкісний нагрів заготовок, основною умовою якого є застосування високих температур у робочому просторі печі. Якщо при звичайному нагріванні застосовують перепад між температурою печі і металу ~100° С, то при швидкісному – 200° С і вище.

Охолодження поковок після гарячої деформації впливає на якість металу. При швидкісному охолодженні можуть виникати “холодні” тріщини. У залежності від хімічного складу металу і його властивостей застосовують наступні способи охолодження: на повітрі, в ящиках (термостатах), у колодязях, разом з піччю і комбіноване.

Нагрівальні печі

Застосовують горни ковальські і нагрівальні печі різних конструкцій. Вибір печей залежить від виду палива, характеру виробництва, складу матеріалу, розмірів і форми заготовок, котрі нагріваються.

За режимом нагрівання розрізняють камерні і методичні печі. У робочому просторі камерної печі температура однакова. У методичній печі температура спеціально змінюється по довжині печі. [64,85,99,112,120].

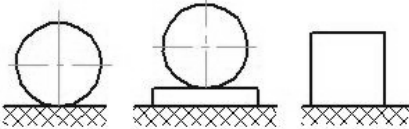
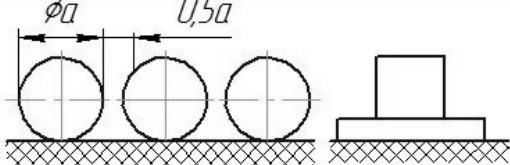
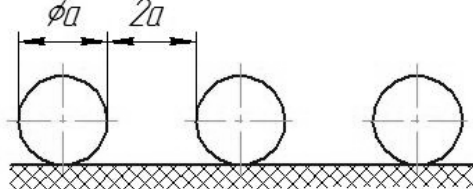
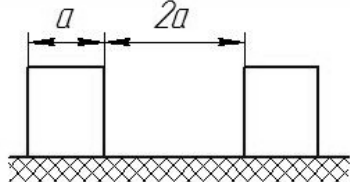
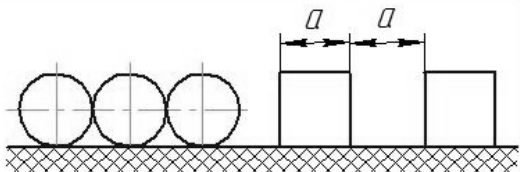
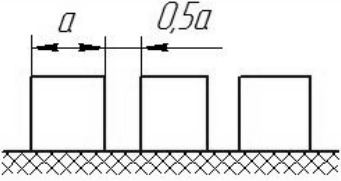
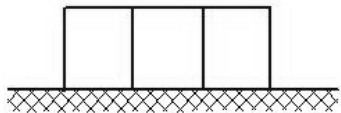
Розміщення заготовок	Коефіцієнти
	1,0
	1,4
	1,3
	1,8
	2,0
	2,2
	4,0

Рис. 4.12. Значення коефіцієнта α у залежності від розміщення заготовок

За способом завантаження і вивантаження розрізняють печі періодичної і безперервної дії. У періодичну (наприклад, камерну) піч метал завантажується і видається через одне робоче вікно, метал під час нагрівання нерухомий. У безперервних (наприклад, методичних) печах метал у процесі нагрівання переміщається від місця завантаження до місця видачі різними способами (штовхачем, перекочується по нахиленому поді, переміщується роликами, протягується тягнучим пристроєм тощо).

За джерелом нагрівання розрізняють наступні пристрої та печі.

Електричні пристрої (які в свою чергу розділяють на електропечі, що працюють від елементів опору, і електронагрівальні установки з використанням контактного або індукційного нагрівання).

Полуменеві печі. Їх в свою чергу розділяють: за видом застосовуваного палива – на печі, що опалюються газоподібним, рідким або твердим паливом; за способом використання теплоти відхідних газів – на рекуперативні і регенераторні печі. У якості газоподібного палива використовують природний і штучний (генераторний, світильний) гази. Газ спалюють у горілках. У якості рідкого палива застосовують мазут, котрий спалюють у форсунках високого (10-60 Па) і низького (0,1-0,3 Па) тиску. Тверде паливо (антрацит, кокс, кам'яне вугілля) спалюють на колошникових ґратах у топці печі або в горілках у пиловидному стані.

Методика вибору печей. При виборі печей враховують масу заготовок, темп і серійність виробництва поковок.

Для нагрівання заготовок перед куванням застосовують: для дрібних і середніх заготовок з вуглецевої сталі – камерні щільні печі, для легованих сталевих заготовок – камерні і двокамерні печі з періодичним поперечним або послідовним завантаженням. Широко застосовують нагрівальні пристрої з висувною подиною.

Для нагрівання заготовок перед штампуванням швидке нагрівання забезпечують полуменеві печі і електричні пристрої (методичні або інші).

Індукційне нагрівання СВЧ застосовують для заготовок діаметром до 200 мм, а нагрівання струмами промислової частоти – для більш крупних заготовок.

Контактне нагрівання застосовують для заготовок діаметром до 70 мм при їх значній довжині.

Дрібні заготовки іноді нагрівають в електроліті, а заготовки з високолегованих сталей – в розплавлених солях і склі.

Полуменеві печі. Їх основні елементи: каркас, футеровка, димоходи, теплообмінні апарати (рис. 4.13, 4.14).

Каркас камерної печі (рис. 16.3) складається з: 1–облицювальні рами; 2–робочий стіл; 3–заслонка; 4–механізм підймання; 5, 6–вертикальний і горизонтальний стояки; 7–плити для горілок; 8–вантаж.

Головною частиною печі є робочий простір, що утворюється футеровкою (рис. 4.2.4): 1–під, 2–боковини, 3–робоче вікно, 4–передня стінка, 5–отвори для горілок, 6–верхня частина печі (склепіння), 7–задня стінка.

Для підігрівання повітря застосовують рекуператори (безперервної дії) і регенератори (періодичної дії). Рекуператор показаний на рис 4.15.

На рис 4.16 показана методична піч безперервної дії: 1–направляючі труби (охолоджуються водою), 2–розвантажувальне вікно, 3–горілки, 4–каркас печі, 5–камера остаточного нагріву, 6–склепіння печі, 7–камера підігріву, 8–димохід, 9–заготовка, 10–штовхач, 11–робочий стіл.

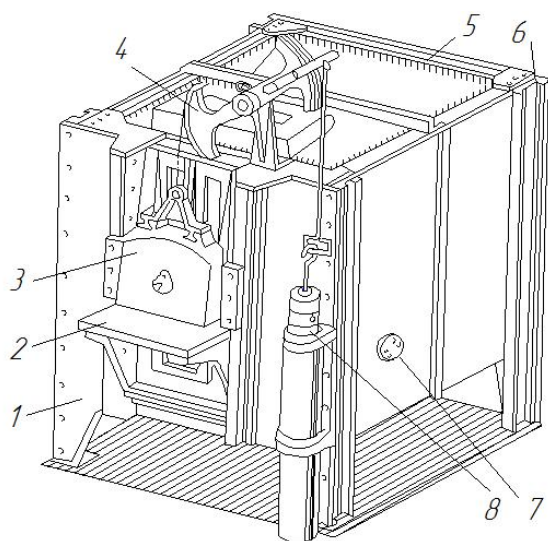


Рис. 4.13. Каркас камерної печі

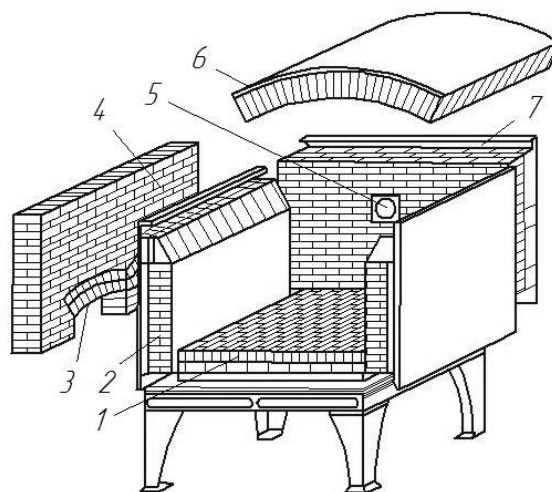


Рис. 4.14. Елементи футеровки печі

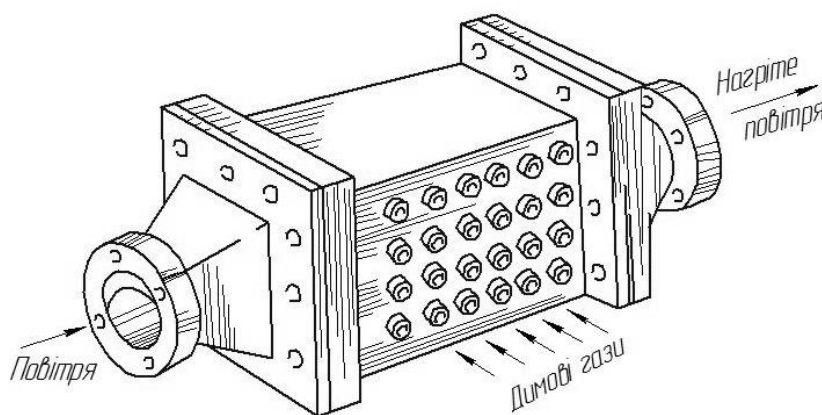


Рис. 4.15. Рекуператор

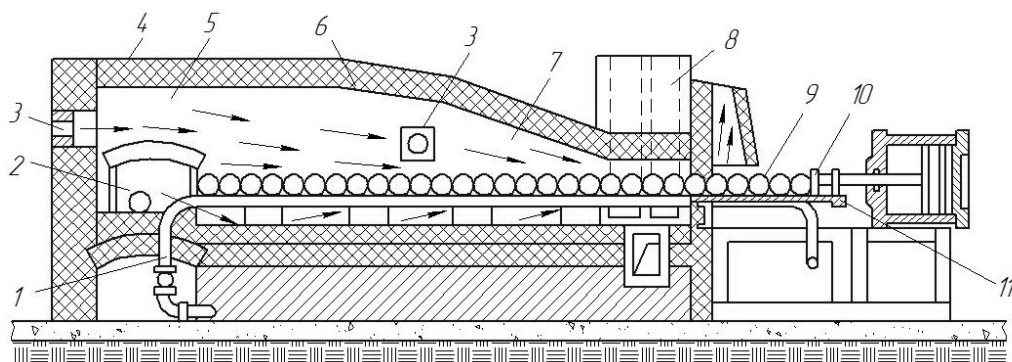


Рис.4.16. Схема методичної печі

Електричні печі опору. Вони такі ж як і полуменеві, але замість форсунок або горілок установлені металеві або карборундові (силітові) елементи опору. Крім того, в них відсутні димоходи і вентиляція.

Металеві нагрівники виготовляють з хромонікелевих сплавів (типу ніхрому). Їх застосовують у печах з робочою температурою до $900-950^{\circ}\text{C}$ (в окремих випадках до 1100°C).

Карборундові нагрівники, у вигляді стержнів діаметром 4-18 мм і довжиною до 1520 мм, забезпечують нагрівання металу до 1300°C і до 1800°C у вакуумі або захисному середовищі.

Електричні печі опору дозволяють точно регулювати температуру робочого простору (рис. 4.17): 1–педаль, 2–під печі, 3–силітові нагріваючі стержні, 4–вікно для термопари, 5–заслонка, 6–підймальний механізм, 7–вікно для подачі захисного газу, 8–металевий каркас, 9–теплоізоляційний матеріал, 10–робоча камера.

Більш продуктивні електричні печі з подом, що обертається, які забезпечують безперервний нагрів.

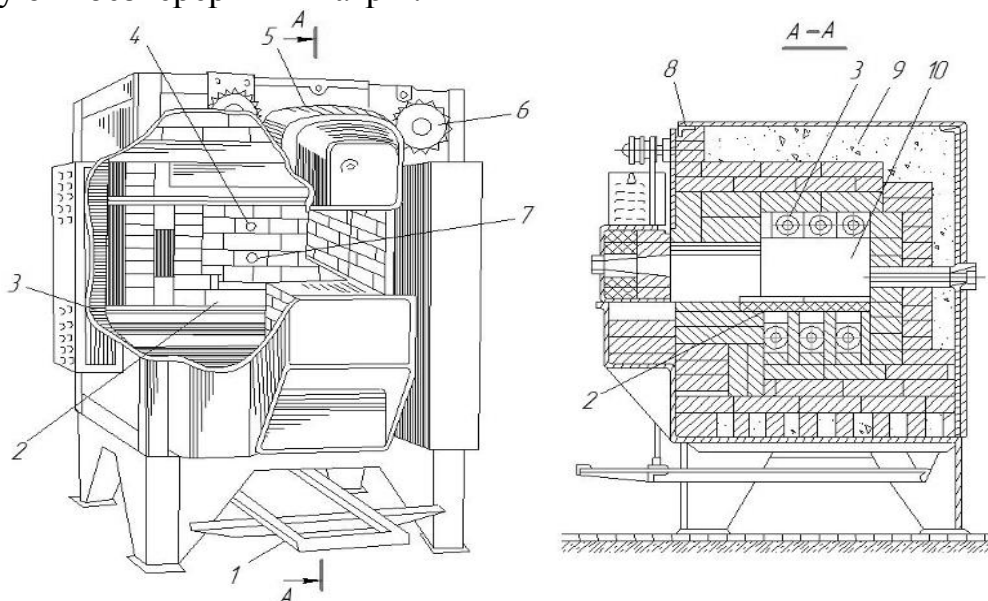


Рис. 4.17. Схема електричної печі опору

Електронагрівальні пристрої

У порівнянні з печами вони більш продуктивні через підвищену швидкість нагрівання, краща якість продукції, підвищена стійкість інструмента. Полегшується механізація і автоматизація процесів, потрібні малі площі.

Установка контактного нагрівання (рис. 4.18), в якій використовується теплота, що виділяється при протіканні електричного струму безпосередньо через заготовку. Ця кількість теплоти Q (Дж) згідно з законом Джоуля-Ленца прямо пропорційна квадратові сили струму I , опорів R металу і часові t :

$$Q = 0,24 I^2 R t.$$

На рис. 16.8: 1—контакти, 2—сталеві заготовки, 3—трансформатор. Час нагрівання заготовки залежить від її довжини і діаметра.

Наприклад, заготовка $\varnothing 35$ мм, $l = 700$ мм до температури 1250°C нагрівається за 23-25 с. Недолік цього способу – нерівномірне нагрівання заготовок по довжині і перерізу. Контактним способом нагрівають тільки довгі сталеві заготовки (до 700 мм) та дріт для навивання пружин. Достоїнства – висока швидкість нагрівання і висока чистота поверхні.

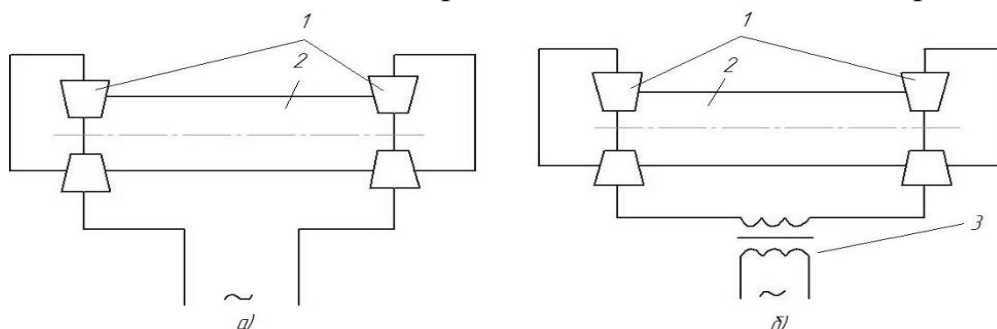


Рис. 4.18. Схеми електроконтактного нагрівання при живленні:
а – безпосередньо від мережі; б – через трансформатор

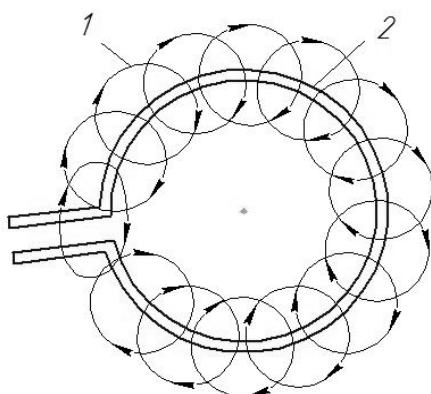


Рис. 4.19. Схема електромагнітного поля навколо провідника (індуктора)

Суть індукційних нагрівальних пристроїв у тому, що при пропусканні через провідник 2 (рис. 4.19) змінного електричного струму, навколо провідника утворюється кругове магнітне поле 1. При розміщенні в змінному магнітному полі сталеві заготовки, вона буде перетинати магнітні силові лінії і в ній виникає електрорушійна сила, під впливом якої виникають індукційні струми Фуко. Ці струми циркулюють у заготовці і викликають

її нагрівання згідно з законом Джоуля-Ленца, аналогічно з дією струму при електроконтактному нагріванні.

Принципова електрична схема індукційного нагрівання наведена на рис. 4.20: 1–перетворювач, 2–батарея конденсаторів, 3–індуктор, 4–контактор. Застосовують струми частотою від 50 до 10000 Гц.

Для нагрівання заготовок діаметром 15-40 мм доцільно застосовувати частоту 8000 Гц, а для нагрівання заготовок діаметром 50-120 мм – частоту 1000 Гц.

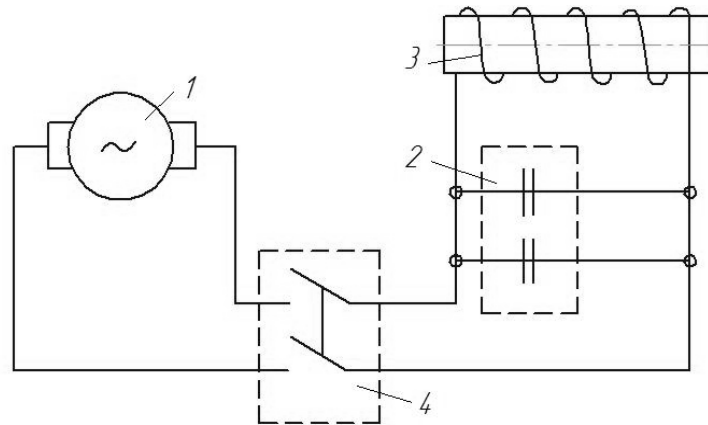


Рис. 4.20. Принципова електрична схема індукційного нагрівання

Заготовки діаметром понад 150 мм нагрівають струмами промислової частоти.

У залежності від режиму нагрівання застосовують нагрівники методичної дії і періодичної дії (може нагріватися частина довжини заготовки або вся).

Для контролю температури нагрівання застосовують термопари, мілівольтметри, потенціометри, пірометри, ардометри і міліскопи. Досвідчені нагрівальники «на око» помиляються всього на 50-60° С.

Найширше застосовують термоелектричні пірометри, тобто термопари, що розміщені в печі. Хромель-алюмелеві термопари застосовують для замірювання температур до 1100° С, а платино-платинорадієві – до 1500° С.

Оптичні термопари (за яскравістю нитки приладу, наведеного на заготовку) зі зникаючою ниткою застосовують для вимірювання температур від 700 до 1500° С.

Радіаційні пірометри (ардометри) наводяться на джерело тепла. Теплові промені проходять через об'єктив і фокусуються на платиновій термопарі.

Міліскоп або фотоелектричний пірометр має фотоелемент, який порівнює або заміряє світлові потоки від розжарених тіл, які створюють те

або інше освітлення на його катоді. Вони відрізняються високою точністю і швидкодією.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Призначення нагрівання металу та явища, які супроводжують його.
2. Теплопровідність металів і сплавів.
3. Теплоємність металів і сплавів.
4. Електропровідність металів і сплавів.
5. Поняття температурного інтервалу кування.
6. Основні види дефектів та браку при нагріванні металу.
7. Нагрівальні печі.
8. Електронагрівальні пристрої.

4.3. Кування

Загальні положення

Кування – це обробка металів тиском (ОМТ) місцевим прикладанням деформуючих навантажень за допомогою бойків або універсального підкладного інструменту. При цьому тиск може передаватися ударами або натисканням інструмента, який не перешкоджає течії металу в сторони. Кування розділяють на ручне (за допомогою кувалди та наковальні) і машинне (на молотах та пресах) [3,4,8,63,64,89,100,101,120].

Процес кування складається з декількох стадій: нагрівання металу, власне ковальської операції, первинної термічної обробки (відпал, нормалізація), контролю геометрії та якості поковок. Для простих поковок кількість ковальських операцій невелика і процес кування здійснюється за декілька нагрівів та підігрівів.

Як вихідний матеріал для ковальського виробництва застосовують метал у вигляді зливків, прокату різних профілів, пресованих прутків. Основна мета кування – зміна форми вихідної заготовки. У процесі обробки металів тиском також змінюється їх структура.

Куванням отримують прості і складні заготовки, що призначені для подальшої механічної обробки різанням. Заготовки, котрі отримують куванням, називають поковками. Внаслідок великої різноманітності поковок, при куванні застосовують різний універсальний інструмент (рис. 4.21). Кування застосовують в ОВ та МСВ, а також в ССВ при виготовленні крупних поковок. Економічність процесу – основний критерій при призначенні того чи іншого процесу ОМТ.

Достоїнства кування:

дозволяє отримувати великі заготовки масою десятки і сотні тонн та довжиною десять і більше метрів;

забезпечує у порівнянні з литтям високу якість металу;
 можливість надати поковці задану досить складну форму;
 дозволяє значно зменшити затрати на обладнання і, особливо, на інструменти для виготовлення разових поковок.

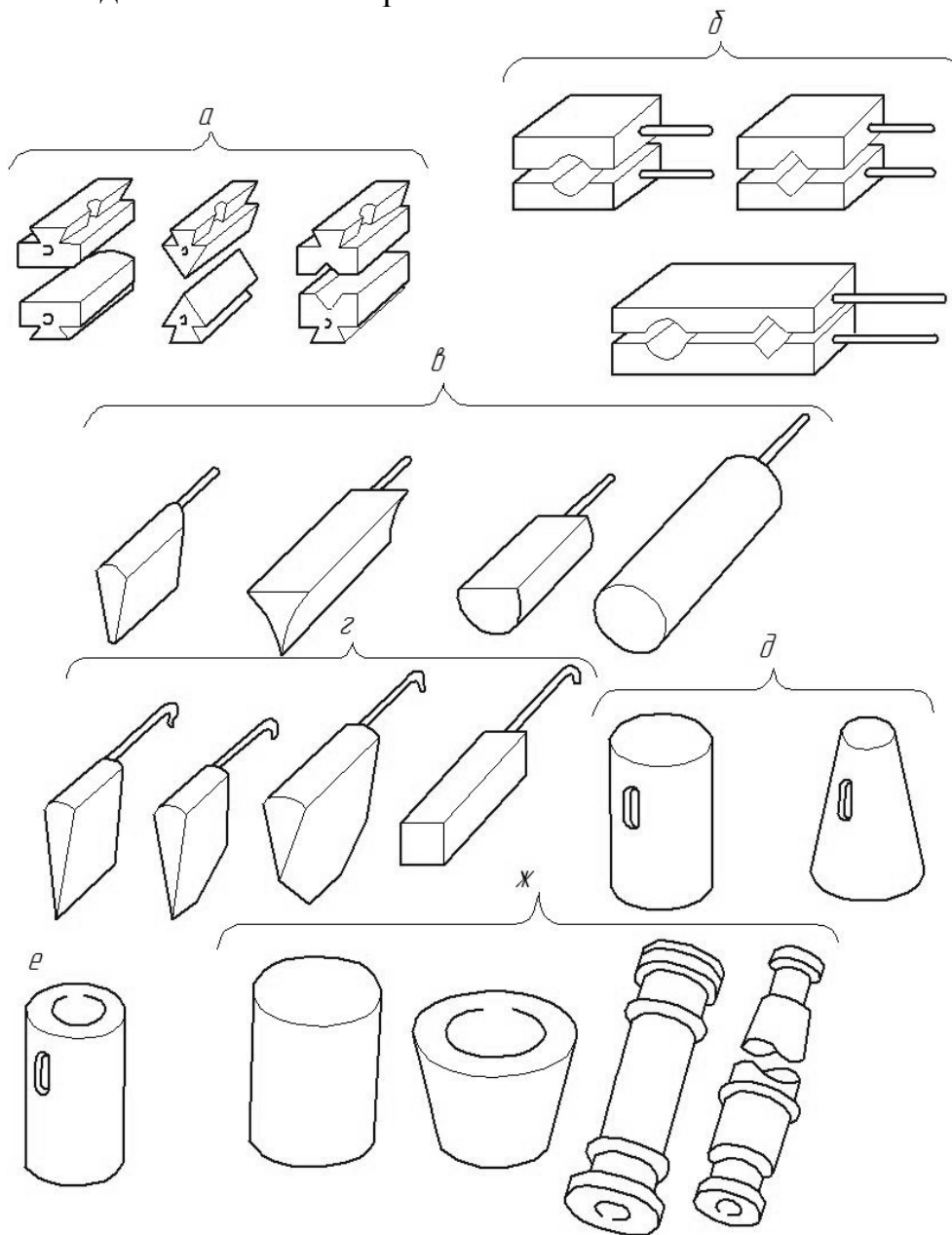


Рис.4.21. Інструмент, який застосовують при куванні:
 а – бойки; б – обтискачі; в – пережимки; г – сокири, квадрат;
 д – прошивки; е – надставки; ж – оправки

Недоліки кування:

низька точність розмірів поковки та якість поверхні;

велика трудомісткість техпроцесу кування і подальшої механічної обробки різанням;
висока кваліфікація ковалів.

Основні операції кування та застосовуваний інструмент

Ковальські операції, що виконуються на молотах (для невеликих і середніх поковок) та на пресах (для великих поковок) аналогічні. Розглянемо основні технологічні операції кування (ГОСТ 18970-84).

Обкатка (зливка прутка) – це обтискування ребер заготовки з метою надання їй форми тіла обертання, тобто для перетворення зливка в круглу заготовку. Перед обкаткою від додаткової частини зливка відтягують хвостовик, необхідний для переміщення та обертання заготовки в процесі кування [34,120].

Відрубка – це повне відділення частини заготовки по незамкнутому контуру шляхом заглиблення у заготовку сокири або квадрата. При

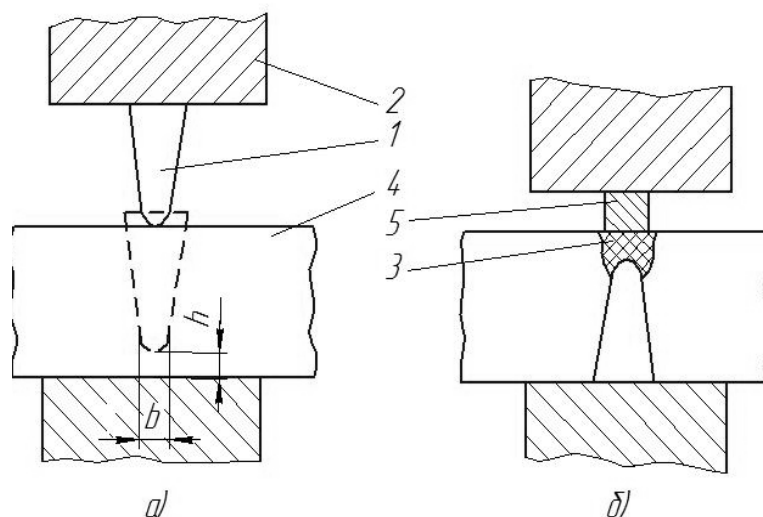


Рис. 4.22. Схема відрубки

відрубці на поверхню заготовки 4 установлюють сокиру 1 (рис. 4.22, а) на заданий розмір і за допомогою верхнього бойка сокиру заглиблюють у заготовку на глибину до $h = (1-2)b$. Після сокиру витягають, заготовку кантують на 180° (рис. 4.22, б), установлюють квадрат 5 і натискають верхнім бойком. Відсічена квадратом перемичка 3 є відходом. Відрубку можна виконувати і за іншими схемами (рис. 4.23).

Розрубка – це розділення поковки або штампованої заготовки на частини шляхом заглиблення інструменту.

Осадка – це зменшення висоти заготовки при збільшенні площі її поперечного перерізу (рис. 4.24). При осадці заготовку установлюють

вертикально і деформують уздовж осі заготовки. Ступінь деформації при осадці $\epsilon_H = \frac{H_0 - H_1}{H_0}$.

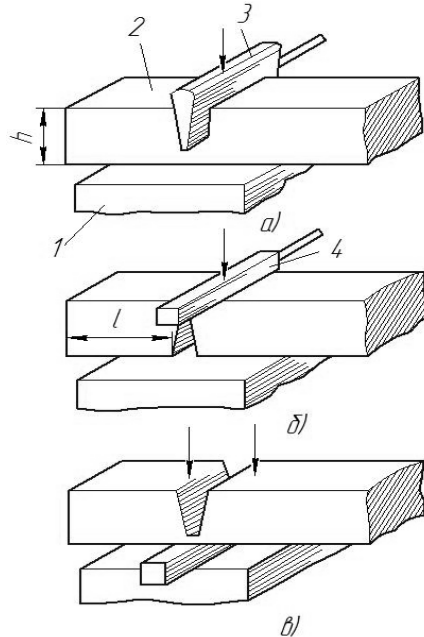


Рис. 4.23. Схеми відрубки:
а) – надрубка; б) – відрубка з кантуванням заготовки;
в) – відрубка без кантування заготовки; 1 – нижні бойок;
2 – заготовка; 3 – сокира;
4 – квадрат

Ступінь зміни площі поперечного перерізу визначається співвідношенням $\epsilon_F = F_1/F_0$. Осадку застосовують не тільки як основну операцію для отримання заготовок типу дисків, але і як додаткову операцію для підвищення ступеня деформації, для усунення литої структури, для видалення окалини.

Щоб не втратити стійкість заготовки і щоб не з'явився поздовжній вигин (рис. 4.25, д) приймають $h/d \leq 2,5-3$. При цьому торці повинні бути перпендикулярними до осі заготовки. Осадка виконується між плоскими, між угнутими бойками або їх комбінаціями.

Осадка заготовок між угнутими плитами або бойками сприяє підвищенню стійкості заготовки, але збільшує бочкоутворення.

Висадка – це осадка, що виконується на деякій частині заготовки (рис. 4.26).

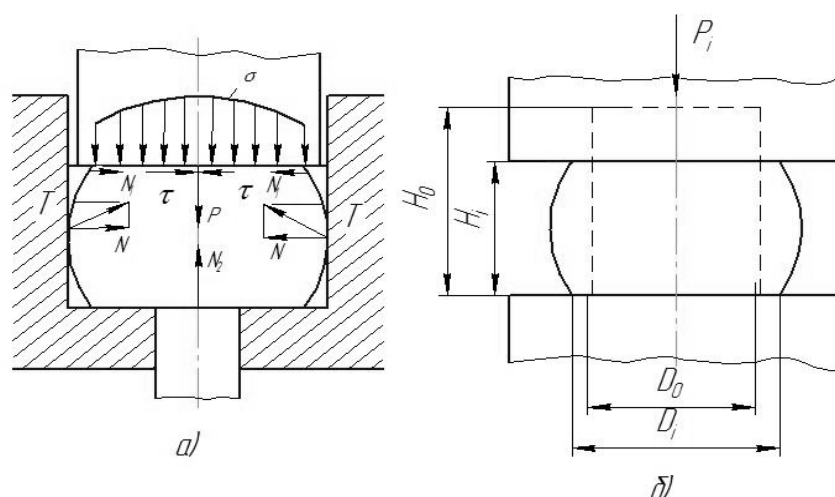


Рис. 4.24. Схема дії активних та реактивних сил (а) та осадки (б)

Протягування – це видовження заготовки або її частини за рахунок зменшення площі поперечного перерізу. Протягування виконується обтискуванням перпендикулярно до осі заготовки з подачею заготовки уздовж осі (рис. 4.27).

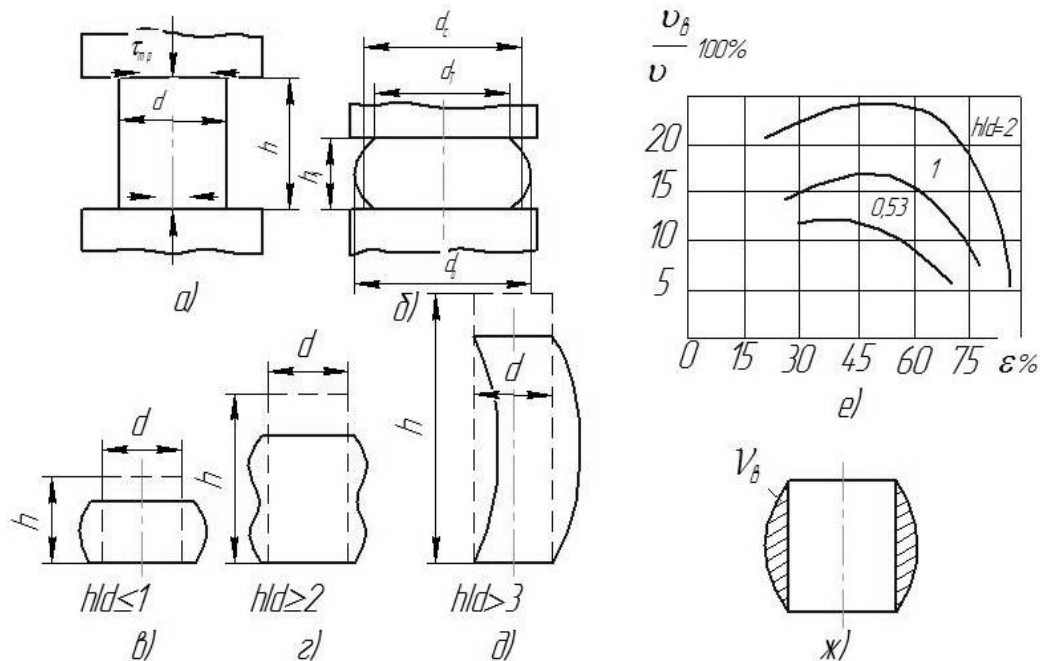


Рис. 4.25. Схеми осадки:

а) і б) – заготовка до та після осадки; в) і г) – одинарне та подвійне бочкоутворення при осадці; д) – поздовжній вигин заготовки; е) – закономірність зміни відносної випуклості заготовки (v_b/v) 100% у залежності від ступеня деформації ε та відношення h/d ; ж) – осаджена заготовка

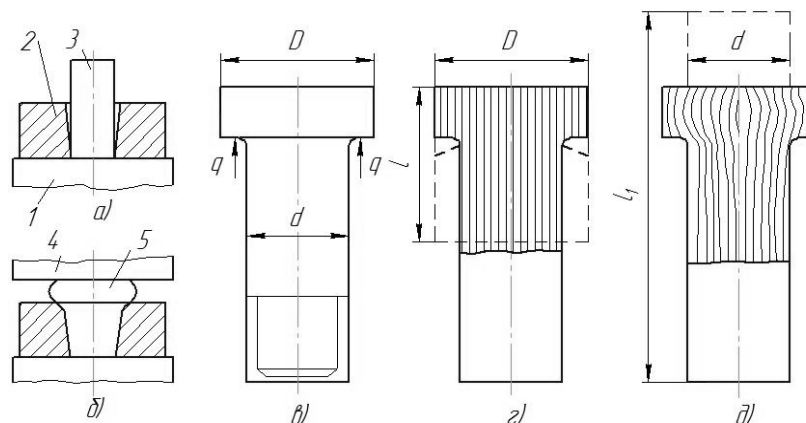


Рис. 4.26. Схема висадки та впливу способу виготовлення поковки на її міцність:

а) – до висадки; б) – після висадки; в) – болт; г) – розміщення волокон у поковці, виготовленій протягуванням; д) – розміщення волокон у поковці, виготовленій висадкою; 1 і 4 – нижній та верхній бойки; 2 – матриця; 3 – заготовка; 5 – висаджена головка

При протягуванні розрізняють переходи і проходи. Перехід складається з одного обтискання і подачі. Суміжні переходи по довжині протягуваної заготовки складають прохід. Протягування може бути однопрохідним, двопрохідним і т.д., але воно завжди багатоперехідне. Для зменшення нерівномірності деформації застосовують такі види протягування: з кантуванням після проходу на всю довжину протягування, з кантуванням в обидві сторони після кожного переходу, по гвинтовій лінії. Ступінь деформації при протягуванні характеризується (рис. 4.27, 4.28) відносним обтиском $\epsilon_H = (H_0 - H_1) / H_0$, розширенням $\epsilon_B = (B_1 - B_0) / B_0$, подовженням $\epsilon_l = (l_1 - l_0) / l_0$.

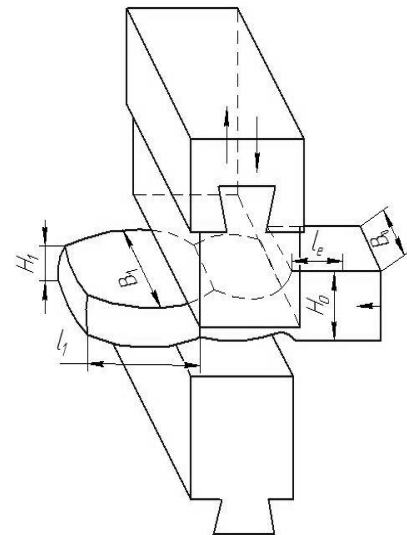


Рис. 4.27. Схема протягання

Допустиму величину обтискування визначають виходячи з пластичних властивостей деформованого металу.

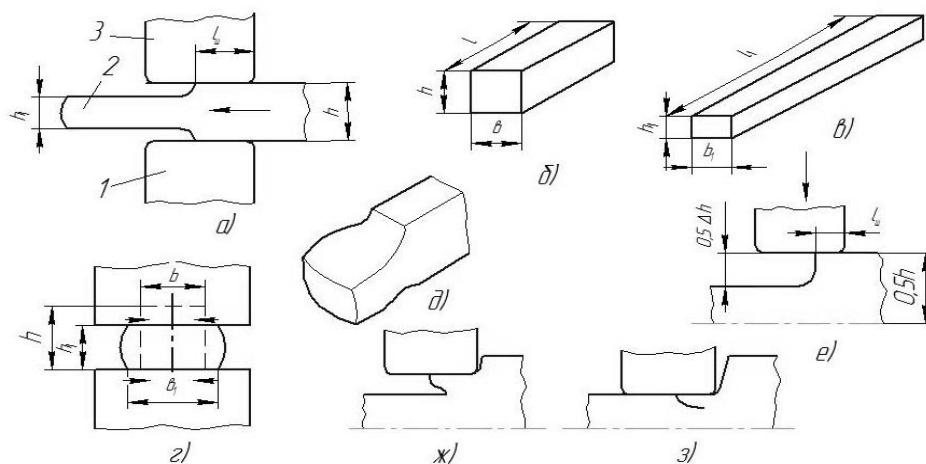


Рис. 4.28. Схема протягування:

- а) заготовка, б) поковка, в) зміна форми заготовки після першого удару, г) і д) затиски (складки), які утворюються при протягуванні (е – з):
1 та 3 – нижній та верхній бойки; 2 – деформована заготовка

Малими подачами звичайно користуються для зменшення розширення, або збільшення максимального обтискання, тобто F_0 / F_1 . Для прискорення протягування можна величину подачі застосовувати рівною $l_0 = (1,2-1,8) B_0$. При цьому протягування супроводжується значним розширенням, що приводить до зменшення відносного обтискання.

При протягуванні на круг плоскими бойками круглі заготовки спочатку перетворюють у квадратні з стороною квадрата, рівною діаметру поковки, а після обкаткою збивають кути і надають заготовці форму тіла обертання. Кування з круга на круг виконують у вирізних бойках або комбінованих: верхній – плоский, нижній – вирізний.

Розкочування – це збільшення діаметра кільцевої заготовки за рахунок зменшення товщини стінок шляхом послідовної дії інструмента (рис. 4.29). Це також різновидність операції протягування: 1–заготовка, 2–бойок, 3–оправка або ролик.

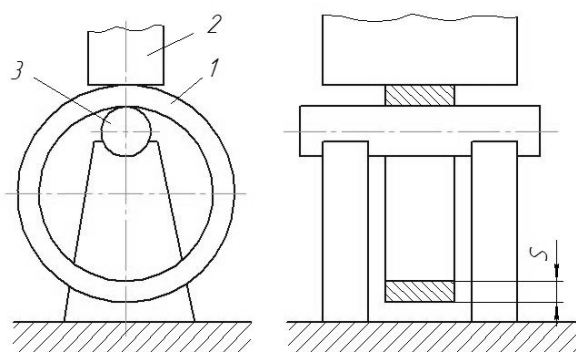


Рис. 4.29. Схема розкочування

Передача виконується при куванні поковок з одним або двома уступами (рис. 4.31).

Прошивка – це утворення ненаскрізної порожнини в заготовці за рахунок вільного витискання металу. Прошивку наскрізних отворів виконують за два переходи (рис. 4.32): перший перехід – намічання отвору прошивнем 1, другий перехід – пробивання отвору з протилежного торця заготовки зворотною стороною прошивня 1 з видаленням видри 2 у відхід.

Прошивання порожнистим прошивнем виконують аналогічно, але без кантування заготовки (рис. 4.33, е). Граничні діаметри отворів, що прошиваються, наведені в ГОСТ 7062-90.

Гнуття – це утворення або зміна кутів між частинами заготовки, або надання їй криволінійної форми. Операцію застосовують, якщо заготовку необхідно вигнути за заданим контуром (рис. 4.34). Гнуття виконують за допомогою підкладних штампів і пристроїв.

Скручування – це поворот частини заготовки навколо поздовжньої осі (рис. 4.35).

Коли необхідне збільшення розмірів заготовки у плані або її частини, за рахунок зменшення товщини, застосовують операцію *розганяння* (рис. 4.30), яка представляє собою деяку різновидність протягування.

Передача – це зміщення однієї частини заготовки відносно іншої при збереженні паралельності осей або площ частин заготовки.

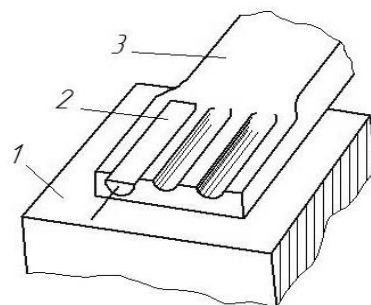


Рис. 4.30. Схема розганяння півкруглою розкаткою:

1 – нижній боек; 2 – розкатка; 3 – заготовка

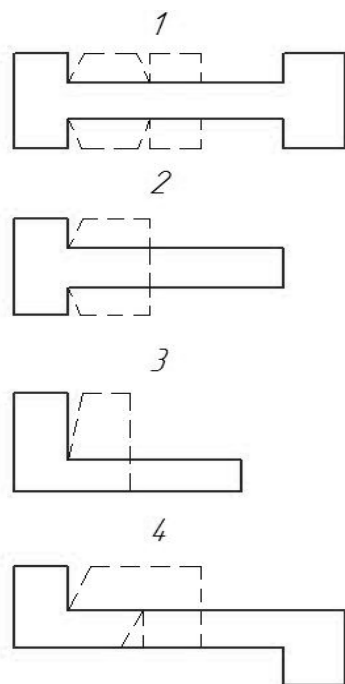


Рис. 4.31. Схема передачі

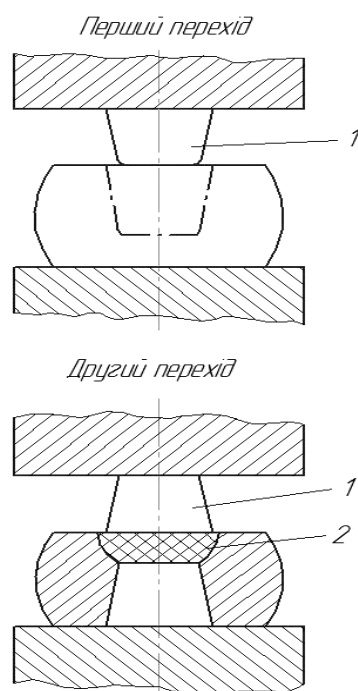


Рис. 4.32. Схема прошивки

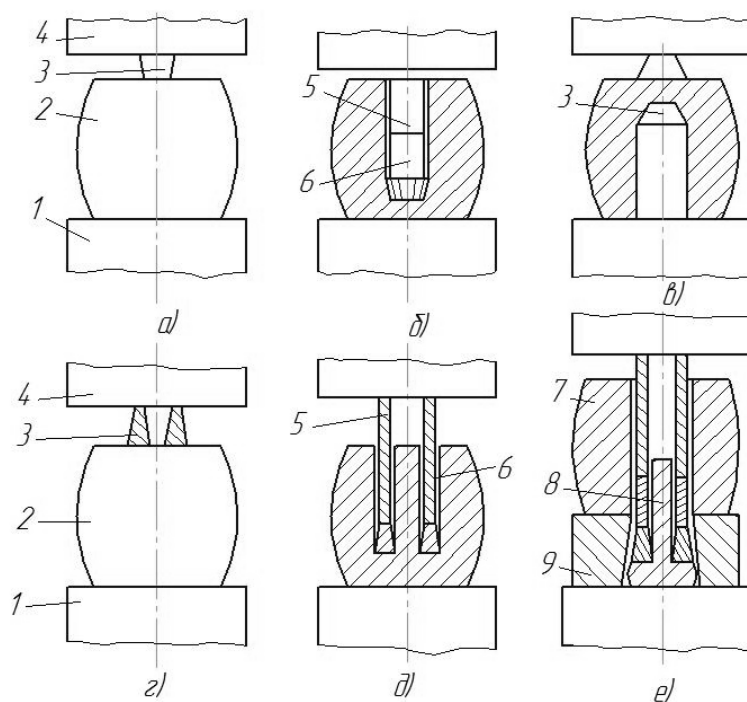


Рис. 4.33. Схеми прошивки суцільним (а – в) та порожнистим (г – е) прошивнями:

1 та 4 – нижній і верхній бойки; 2 – заготовка, яка прошивається;
3 – прошивні; 5 і 6 – надставки; 7 – прошита заготовка; 8 – відхід;
9 – підставне кільце

Видавлювання – це штампування заготовки витискуванням металу у порожнину і (або) отвір рівняка штампа.

Підкатка – це збільшення площі поперечних перерізів заготовки на окремих ділянках за рахунок зменшення площі поперечного перерізу вихідної заготовки на інших ділянках з незначним подовженням заготовки.

Дві останні операції більш характерні для штампування, а не для кування.

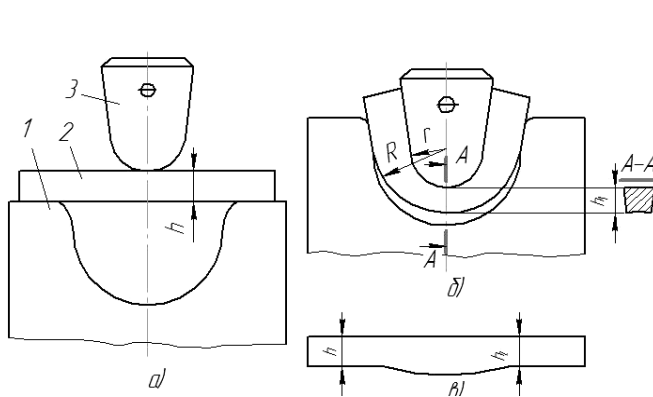


Рис. 4.34. Схема згинання:

а – заготовка до згинання; б – заготовка після згинання; в – заготовка з компенсаційним потовщенням;
1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – пуансон

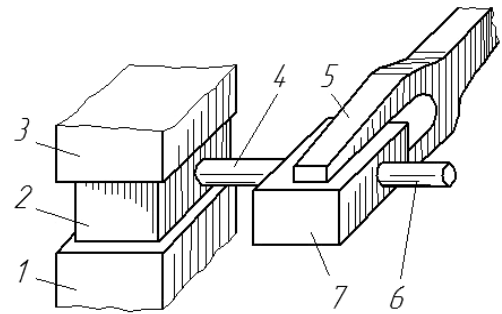


Рис. 4.35. Схема скручування двоколінчастого вала:

1 і 3 – нижній та верхній бойки; 2 і 7 – перше та друге коліна; 4 і 6 – шийки;
5 – вилка важеля

Технологічний процес кування

Складання креслення поковки. Усі поковки за складністю конфігурації можна розділити на дев'ять груп (рис. 4.36).

При розробці ТП виготовлення поковки у першу чергу, виходячи з розмірів та вимог креслення готової деталі, складають креслення самої поковки: збільшують розміри на величину припуску і призначають допуски на кування. У окремих випадках конфігурацію поковки спрощують шляхом застосування напусків.

На рис. 4.37 показана схема розміщення припусків та допусків (а), а також наведений приклад складання креслення поковки вала (в) з пазами для вільного кування на пресі. Тому, що пази на валі (б) куванням виконати неможливо, то креслення поковки складають з призначенням напусків у цих місцях.

Вибір припусків, напусків, допусків. Припуск на механічну обробку $h = D_1 - D$ (рис. 4.37, а) – це збільшення розмірів поковки у порівнянні з

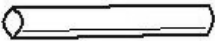
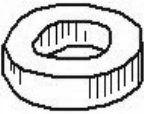
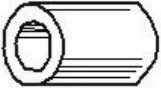
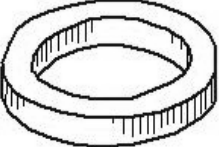
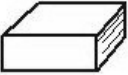
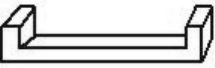
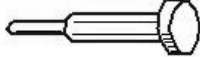
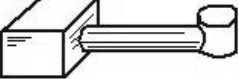
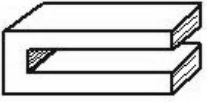
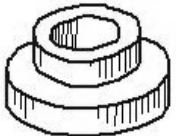
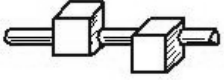
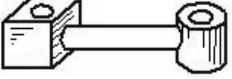
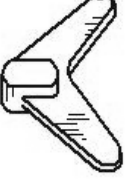
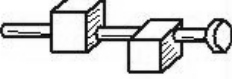
Група складності поковок			
I	III	IV	V
			
II			
  	  	  	  
VI	VII	VIII	IX
   	  	   	  

Рис. 4.36. Класифікація поковок, які виготовляють куванням

готовою деталлю, необхідне для знімання дефектного шару, що утворився у процесі кування, або для усунення відхилень геометричної форми поковки.

Допуском Δ на указану поверхню називають допустиме відхилення розмірів готової поковки від її номінальних розмірів.

Напуск – це об’єм металу, який додають в окремих місцях поковки з метою спрощення конфігурації і технології виготовлення, якщо неможливо або недоцільно виготовити її без напуску. Навпуск призначають і за технологічними вимогами, коли необхідний метал для виготовлення зразків для механічних випробувань, для кріплення деталі при термообробці тощо.

Значення припусків, допусків та напусків призначають за :

ГОСТ 7829-70 – для поковок, що виготовляються на молотах;

ГОСТ 7062-90 – для поковок, що виготовляються на пресах.

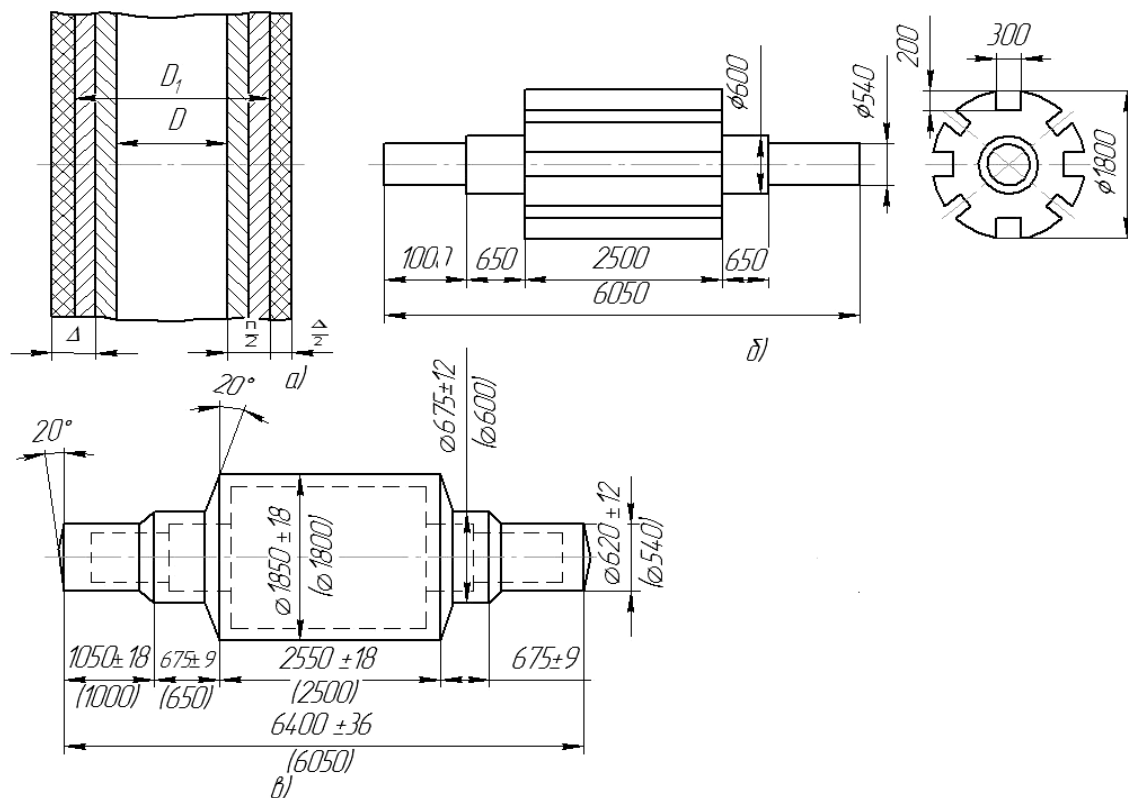


Рис. 4.37. Схема розподілу припуску та допуску (а), креслення деталі (б) і приклад складання креслення поковки (в)

При конструюванні поковки використовують загальноприйняті правила креслення (ГОСТ 3.1126-88). На кресленні поковки тонкими штрихпунктирними лініями з двома точками наносять контури деталі, або обдирний її контур. Нижче від кожного розміру поковки в дужках допускається вказувати відповідний розмір деталі або обдирний розмір, а справа зверху від розміру поковки – допуски (рис. 4.37, 4.38). Величина

припусків та допусків залежить від розмірів та форми поковок, обладнання тощо.

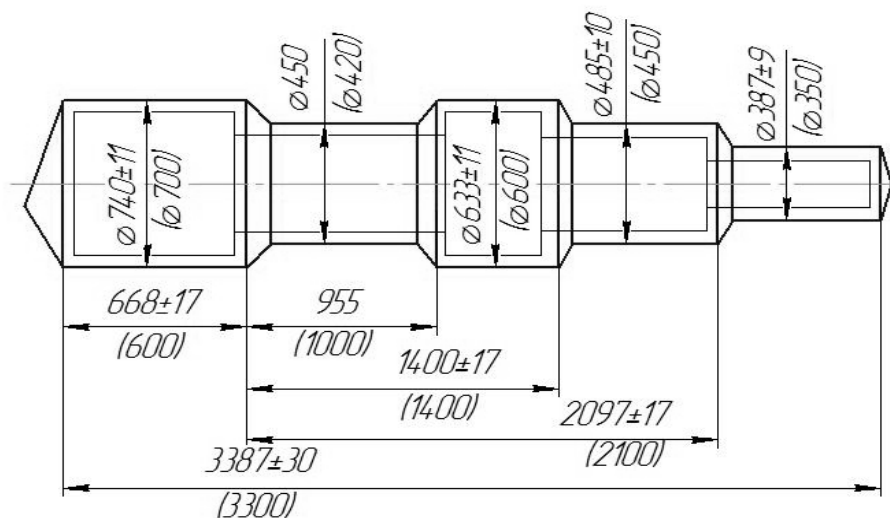


Рис. 4.38. Приклад оформлення розробленого креслення поковки:
цифри без дужок позначають номінальний розмір,
цифри в дужках – розмір деталі

Визначення маси та розмірів вихідної заготовки. За кресленням поковки визначають об'єм, а, отже, і масу, з урахуванням усіх видів відходів металу у процесі обробки. Загальна маса вихідної заготовки (зливка) визначається як сума

$$M_{\text{заг}} = M_{\text{пок}} + M_{\text{обс}} + M_{\text{вид}} + M_{\text{виг}} + M_{\text{дод}} + M_{\text{дон}},$$

де включена, відповідно, маса поковки, обсічення (0-5 %), видри (8-12 %), відходів на вигар (~2 % на один нагрів), додаткової та донної частини зливка. При куванні з кованого металу або прокату $M_{\text{дод}}$ і $M_{\text{дон}}$ відсутні.

Визначивши масу вихідної заготовки для поковки, знаходять розміри заготовки з прокату або зливка з нормалізованого ряду.

Технологічна карта процесу кування. Технологічний процес кування фіксують у технологічній карті, що містить 52 пункти. Вибір операцій і їх послідовність залежать від форми виготовлюваної поковки, її матеріалу, ТУ на поковку та інш. Спочатку дивляться, як виготовляють аналогічні поковки, а після розробляють новий ТП. Якщо є в наявності, то використовують типові ТП. На рис. 4.39-4.42 показані приклади конструювання та виготовлення різних поковок.

На рис. 4.43 наведений приклад кування колінчастого вала. Спочатку визначають загальний об'єм і масу поковки, виходячи з густини сталі 7,85 г/см³. Приймають вигар для одного нагріву та двох підігрівів рівним 5 % і відходи на обробку кінців – 3 %. Тому, що найбільший переріз поковки 120x250 = 30000 мм², то як вихідну заготовку приймають блум перерізом не меншим 180x180 = 32400 мм². Визначають довжину блума.

Блум нагрівають і відрубують необхідну довжину. Після його протягують на штабу 120x250 мм (перехід 1) і надрубують у двох місцях на відстані 300 мм (перехід 2) з урахуванням того, що з кожного надрубленого об'єму можна буде відкувати кінцеві шийки вала. При необхідності заготовку підігрівають. Після цього необхідно виконати витяжку одного кінця (перехід 3) і другого (перехід 4). Надрубку і остаточну відрубку (перехід 5) кінцевих відходів звичайно виконують після додаткового підігріву. Після кування поковку піддають первинній термічній обробці, а потім передають на механічну обробку різанням.

На рис. 4.44 та 4.45 показана послідовність виготовлення поковок кривошипа та втулки.

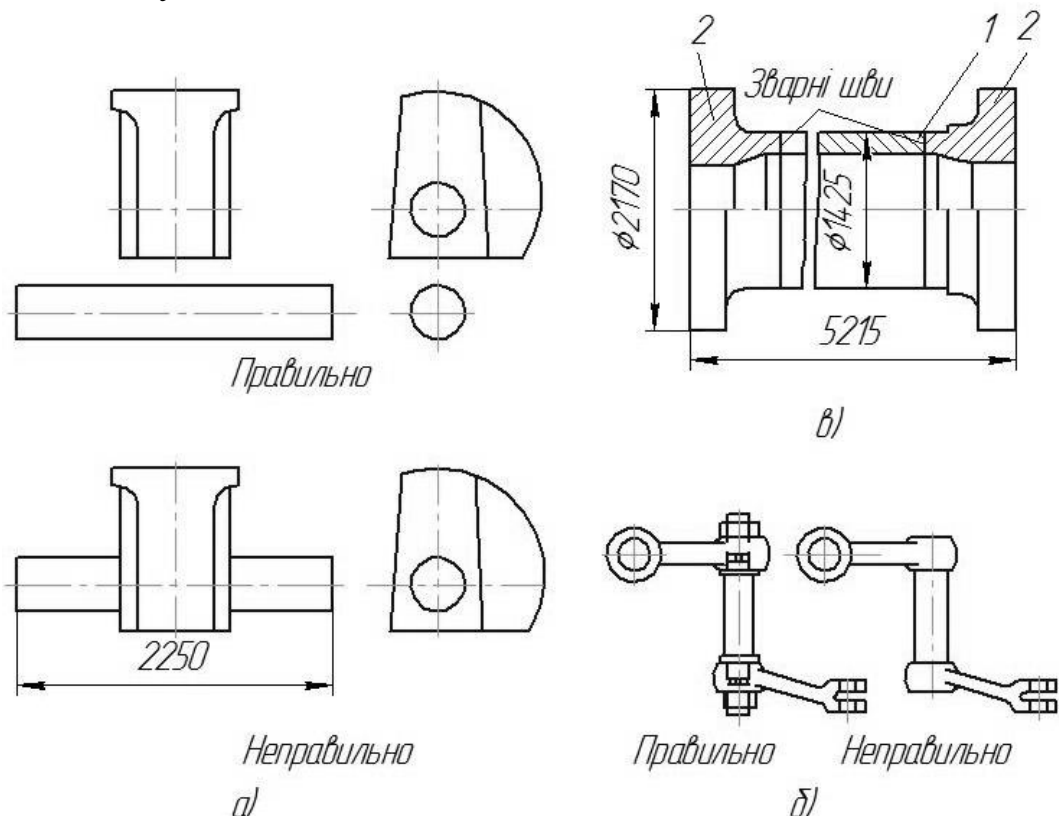


Рис. 4.39. Приклади заміни поковок складної форми зварними або складеними з частин

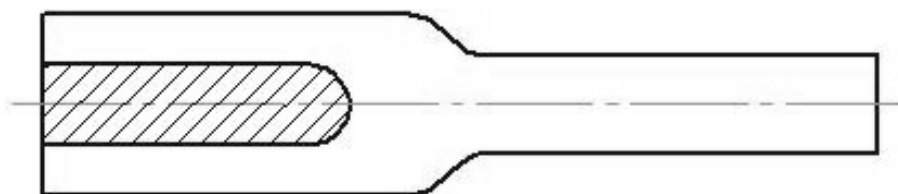


Рис. 4.40. Напуск на поковці

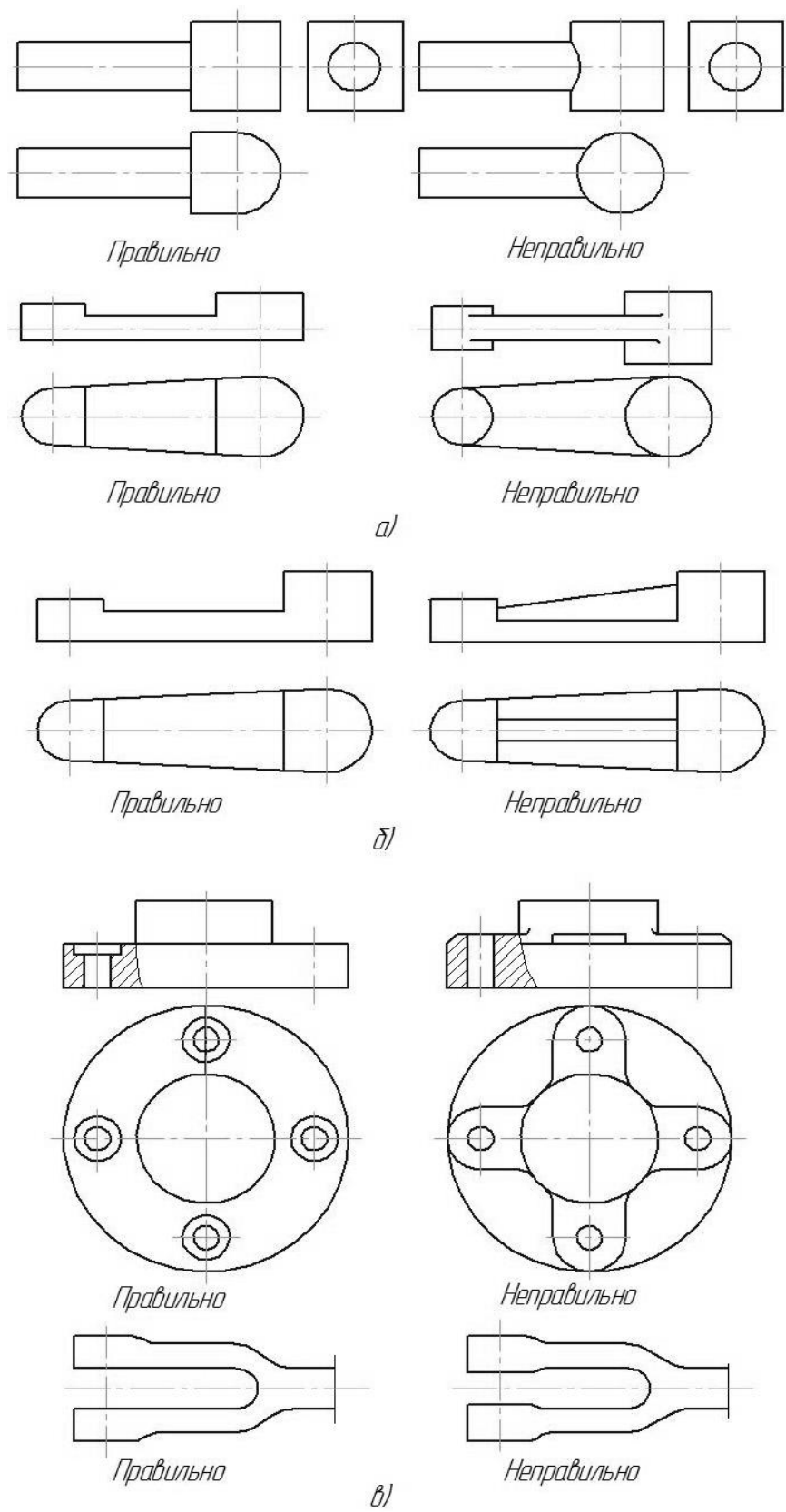


Рис. 4.41. Конструкції поковок

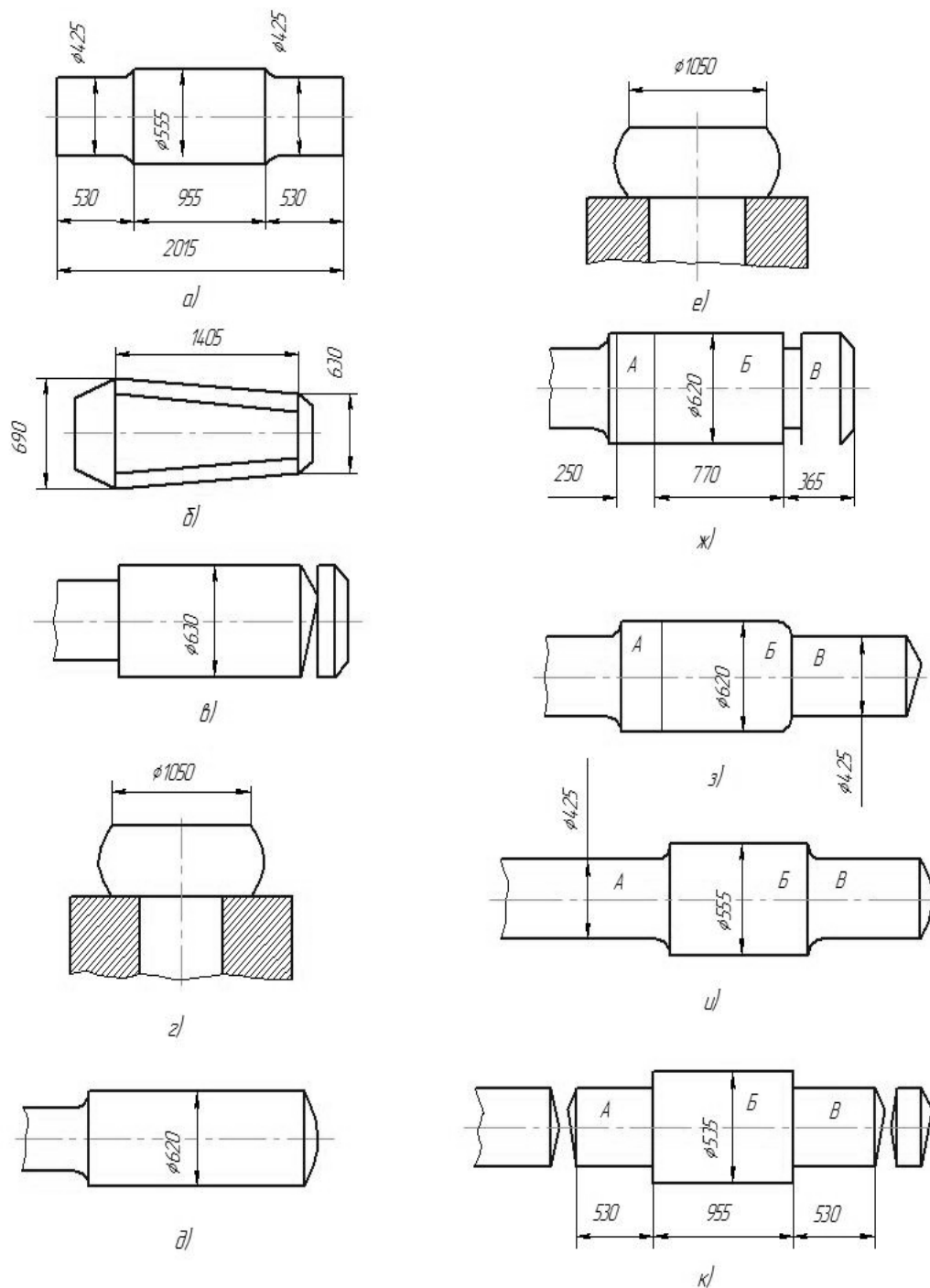
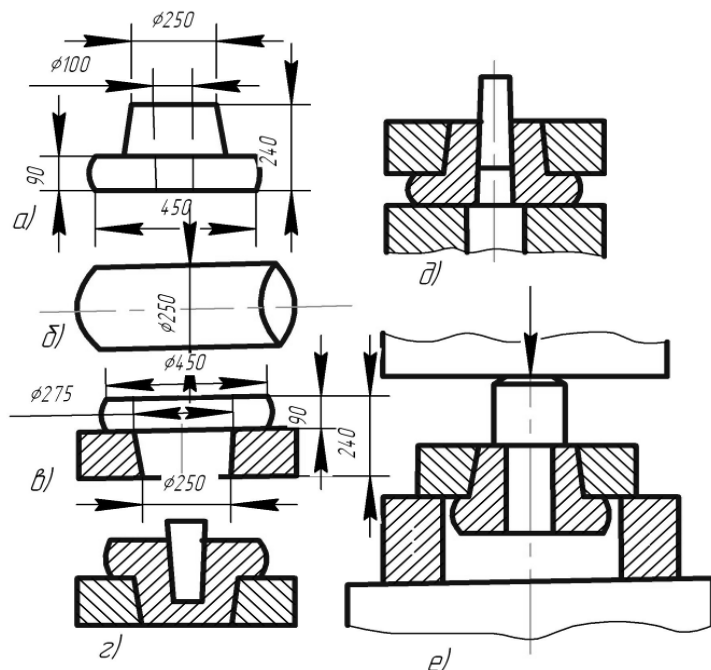


Рис. 4.42. Переходи при куванні валка:

а) – ескіз поковки; б) – зливоч; в) – протягування цапфи, білетировка на $\varnothing 630$ мм, відрубка донньої частини зливка; г) – осадка блока до $\varnothing 1050$ мм; д) – протягування блока на $\varnothing 620$ мм; е) – осадка блока до $\varnothing 1050$ мм; ж) – протягування блока на $\varnothing 620$ мм, розмітка і надрубка частин А, Б, В; з) – протягування шийки В вала на $\varnothing 425$ мм; и) – протягування середньої частини Б валка на $\varnothing 555$ мм і другої шийки А на $\varnothing 425$ мм; к) – відрубка кінців

Рис. 4.45. Переходи при куванні втулки:

- а) - ескіз поковки;
- б) - осадка заготовки з наступним протягуванням на круг $\varnothing 250$ мм;
- в) - висадка фланця в кільці;
- г) - часткове прошивання отвору з боку фланця;
- д) - поворот заготовки з підкладним кільцем на 180° і остаточне прошивання отвору; е) - видалення поковки з кільця



Обладнання для кування

Для усіх операцій кування застосовують молоти та преси. Молоти характеризуються масою падаючих частин, до яких відноситься поршень, шток, баба та верхній бойок. У одних випадках деформація металу забезпечується тільки дією маси частин, котрі вільно падають (молоти простої дії), в інших – примусових прискоренням падаючих частин (молоти подвійної дії).

Молоти приводяться в дію стисненням повітрям або парою (енергоносії), котрі розганяють рухомі частини до 6-8 м/с. Для кування найбільше розповсюдження отримали пневматичні та пароповітряні молоти подвійної дії.

Основні параметри та розміри молотів наведені в ГОСТ 6039-82, ГОСТ 28032-89, ГОСТ 712-75, ГОСТ 714-82, ГОСТ 9752-75.

Для виготовлення дрібних поковок застосовують пневматичні молоти з масою падаючих частин 100-1000 кг (рис. 4.46): 1–робочий циліндр, 2–компресорний циліндр, 3–поршень компресорного циліндра, 4–електродвигун, 5–кривошипний механізм, 6–верхній бойок, 7–нижній бойок, 8–подушка, 9–шабот.

Для виготовлення середніх поковок масою до 2 т застосовують пароповітряні молоти з масою падаючих частин 1000-5000 кг. Ці молоти бувають з одним стояком, з двома стояками (арочні) та мостові.

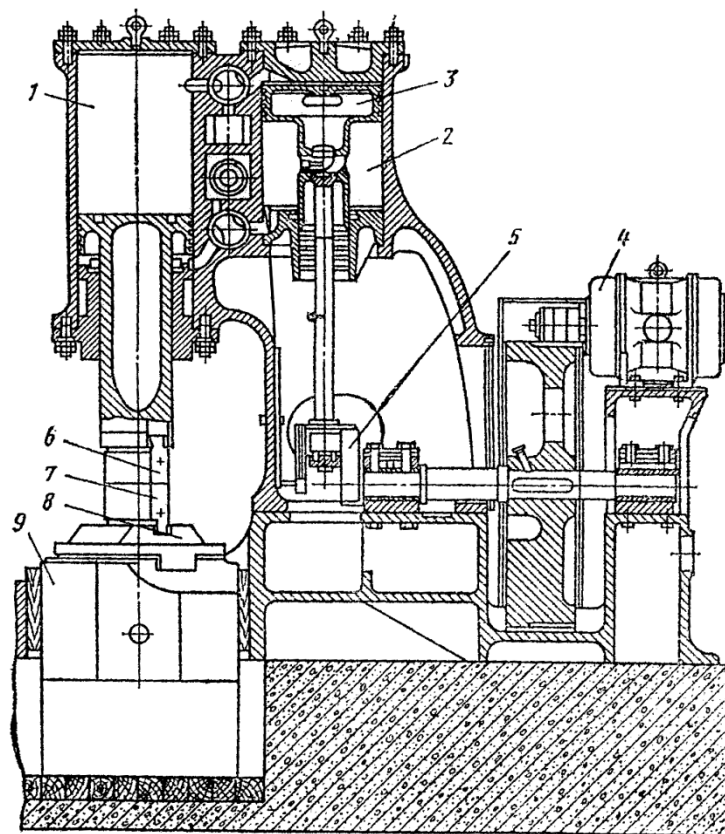


Рис. 4.46. Пневматичний молот

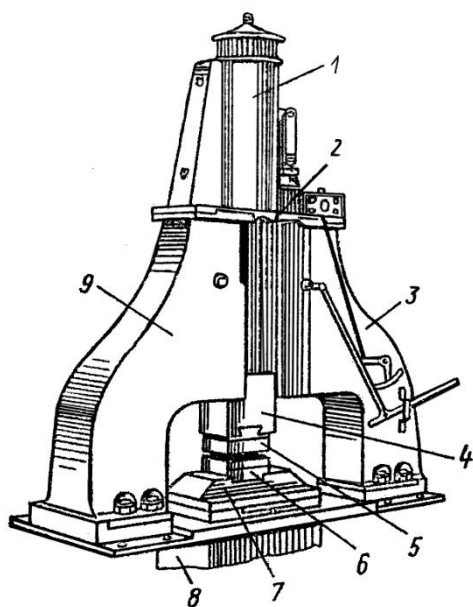


Рис. 4.47. Пароповітряний кувальний молот подвійної дії арочного типу

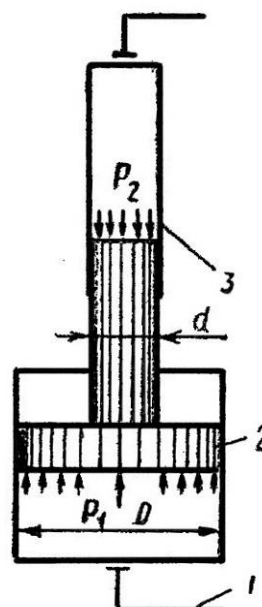


Рис. 4.48. Принципова схема мультіплікатора

На рис. 4.47 показаний пароповітряний молот арочного типу:
1–робочий циліндр, 2–шток, 3 та 9–лівий та правий стояки, 4–баба, 5 та 6–верхній та нижній бойки, 7–перехідна плита, 8–шабот.

Шабот установлюють на самостійному фундаменті і він не зв'язаний з молотом. Баба переміщується в направляючих.

Заготовки масою понад 2000 кг кують на гідропресах з зусиллям 5-150 МН. Гідропресова установка (рис 4.49) складається з преса А, привода Б, системи управління Г та трубопроводів В: 1–робочий циліндр, 2–плунжер, 3–гайки, 4–верхня поперечина, 5–колони, 6–верхній боек, 7–рухома поперечина, 8–нижня поперечина, 9–підйомні циліндри, 10–нижні гайки, 11–заготовка.

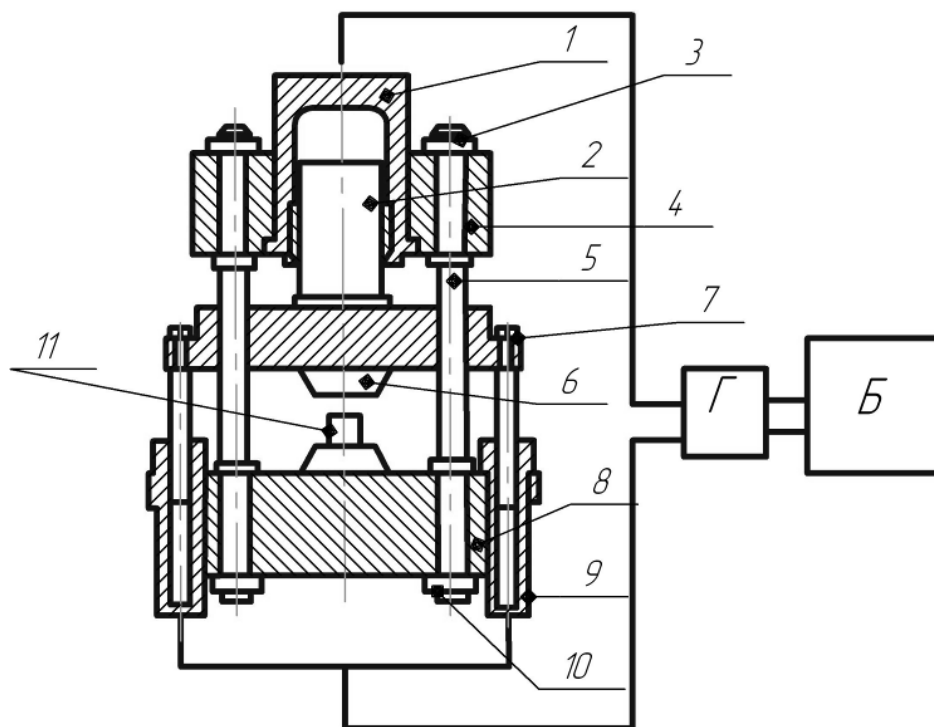


Рис. 4.49. Схема гідропресової установки (преса)

Робочий цикл гідропреса складається з таких періодів: холостий хід – наближення рухомої поперечини до заготовки перед початком робочого ходу, робочий хід – рух рухомої поперечини у процесі деформації заготовки, зворотній хід – повернення рухомої поперечини у вихідне положення. Робочий та зворотній ходи преса виконуються за допомогою рідини високого тиску (20-45 МПа), холостий хід – рідини низького тиску (0,4-0,8 МПа).

Для створення високого тиску застосовують такі приводи:

1) насосно-безакумуляторний, коли рідина подається безпосередньо в циліндр насосом високого тиску;

2) насосно-акумуляторний, коли рідина від насоса подається в акумулятор, тобто ємність високого тиску, а після – в робочий циліндр. Мультиплікатори застосовують в обох випадках для додаткового підвищення тиску рідини перед її подаванням у робочі циліндри.

Мультиплікатор (рис. 4.48) складається з двох циліндрів 2 і 3 різних діаметрів. У великий циліндр через трубопровід 1 поступає пара або повітря (пароповітряний мультиплікатор), або рідина від насосно-акумуляторної станції або насоса (гідравлічний мультиплікатор). Виходячи з закону рівноваги сил

$$p_2 f_H = F_H p_1, \text{ тобто } p_2 = \frac{F_H}{f_H} p_1, \text{ або } p_2 = \frac{D^2}{d^2} p_1,$$

де F_H – площа великого плунжера, м^2 ; f_H – площа малого плунжера, м^2 ; D і d – , відповідно, діаметри плунжерів, м. Відношення квадратів діаметрів плунжерів називають коефіцієнтом мультиплікації.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Суть процесу кування.
2. Достоїнства та недоліки кування.
3. Основні технологічні операції кування.
4. Визначення маси та розмірів вихідної заготовки.
5. Технологічний процес кування і розробка креслення поковки.
6. Обладнання для кування.
7. Принцип роботи мультиплікатора.
8. Розрахунок коефіцієнта мультиплікації.
9. Інструмент, який застосовують при куванні.

4.4. Гаряче штампування на молотах

Суть процесу об'ємного штампування

Процеси ОМД широко застосовують у заготівельному виробництві завдяки високій універсальності, продуктивності, відносно низької собівартості, підвищенню механічних властивостей і позитивного впливу на структуру заготовок. Витрати металу при цьому зменшуються на 25 – 40% в порівнянні з литтям. [1,2,3,4,6,34,63,64,85,101,102,120].

Гаряче штампування (ГШ) на молотах (ГШМ) заключається в деформації нагрітої заготовки за допомогою спеціального інструмента – штампа, в результаті чого деформований метал заповнює порожнину

штампа (рівчак) за конфігурацією, що відповідає формі майбутньої поковки.

Крім високої продуктивності ГШ забезпечує отримання поковок з відносно високою точністю розмірів. Воно дозволяє суттєво зменшити розхід металу на виготовлення деталей та знизити трудоемність при наступній обробці різанням. Крім того, забезпечується добра якість поверхні. У табл. 4.2 показана шорсткість поверхонь, отриманих різними способами обробки. Штампування також забезпечує одержання виробів дуже складної форми, яку часто не можна отримати куванням.

У залежності від складності штампованої заготовки застосовують такі способи штампування (рис.4.50): в одному рівчаку, у багатьох рівчаках, розчленоване та комбіноване.

Таблиця 4.2

Шорсткість поверхонь, отримувана різними способами обробки

Спосіб обробки	Параметр шорсткості R_z , мкм						
	160-80	80-40	40-20	20-10	10-6,3	6,3-3,2	3,2-1,6
Гаряче штампування	+	+	+				
Теж, підвищеної точності		+	+	+			
Холодне калібрування				+	+	+	+
Точіння: чорнове чистове	+	+	+	+	+	+	
Стругання: чорнове чистове	+	+	+	+	+	+	
Фрезерування: чорнове чистове	+	+	+	+	+		

Штампування в одному рівчаку полягає в деформації заготовки в одному рівчаку і застосовується при виготовленні простих заготовок.

Штампування у багатьох рівчаках полягає у послідовному деформуванні заготовки в декількох рівчаках одного штампа. Воно найбільш розповсюджене. У заготовчих рівчаках виконують фасонування заготовки для остаточної обробки в штампувальних рівчаках.

У залежності від групи серійності, форми поковки та використовуваного обладнання застосовують такі види об'ємного штампування: відкрите (з облоєм), закрите (безоблойне) і штампування витискуванням.

У більшості випадків для штампування застосовують універсальне обладнання: молоти, преси і горизонтально-кувальні машини.

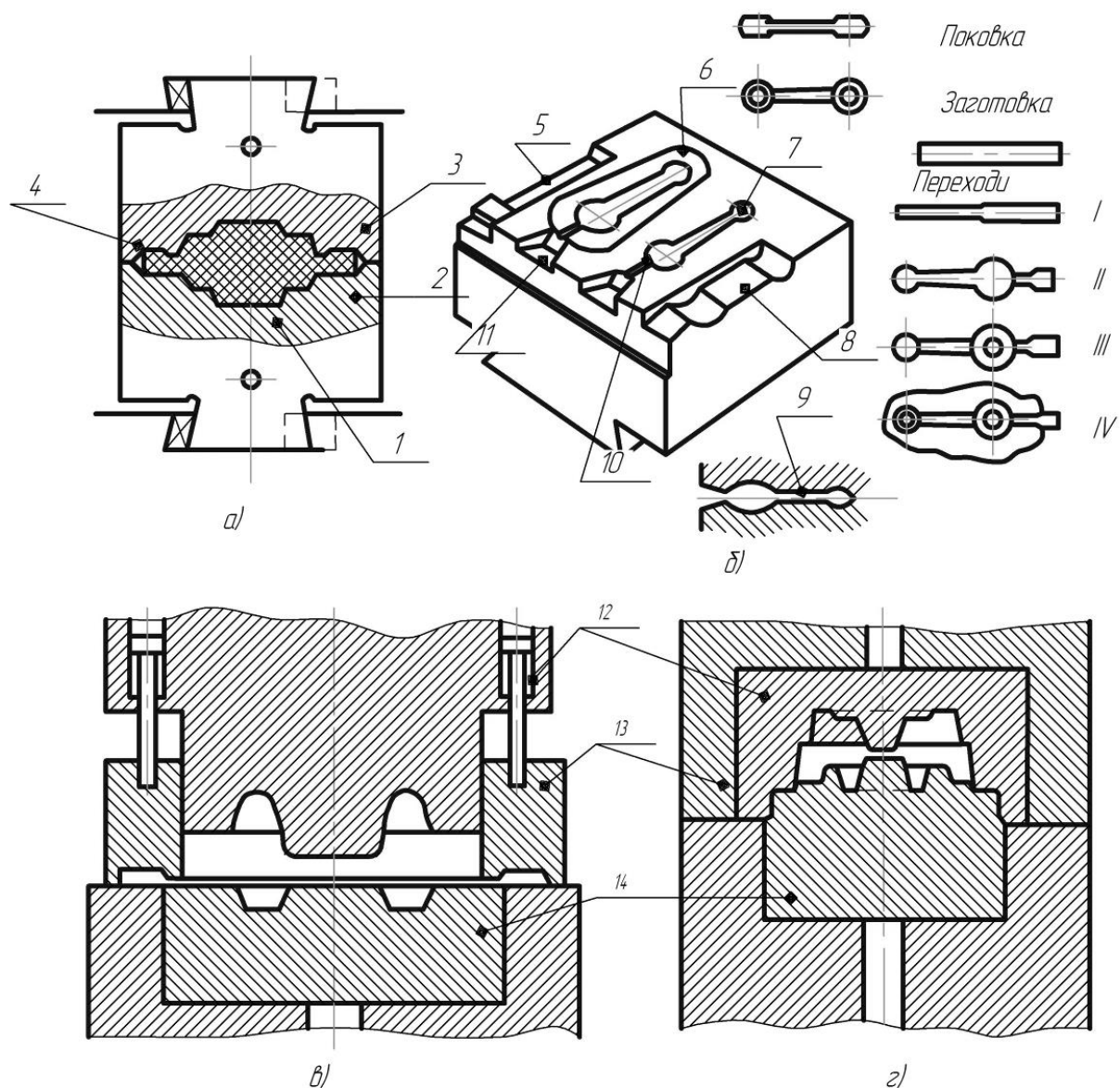


Рис. 4.50. Різновидності штамів для гарячого об'ємного штампування:

- а) – однорівчаковий молотовий штамп; б) - багаторівчаковий молотовий штамп; в) – штамп з закритим магазином; г) – штамп для безоблойного штампування; 1 – заготовка; 2 – нижня половина штампа; 3 – верхня половина штампа; 4 – облойна канавка; 5 – протяжний рівчак; 6, 7 – штампувальні рівчаки; 8 – підкатний рівчак; 9, 10 – облойні канавки; 11 – кліщовина; 12 – верхня формоутворююча вставка; 13 – кільце; 14 - нижня формоутворююча вставка

Вибір того чи іншого виду обладнання залежить від серійності деталі, що виготовляється.

Розчленоване штампування полягає в тому, що заготовку штампують в двох і більше штампах, котрі установлені на різних машинах одного типу.

Комбіноване штампування полягає в тому, що відштамповану на одній машині поковку піддають деформації на якій-небудь машині другого типу, яка забезпечує отримання остаточної форми заготовки.

При виготовленні невеликих простих поковок рекомендується багатоштучне штампування, тобто коли одночасно отримують дві і більше поковки.

Основні типи штампованих заготовок показані на рис. 4.51.

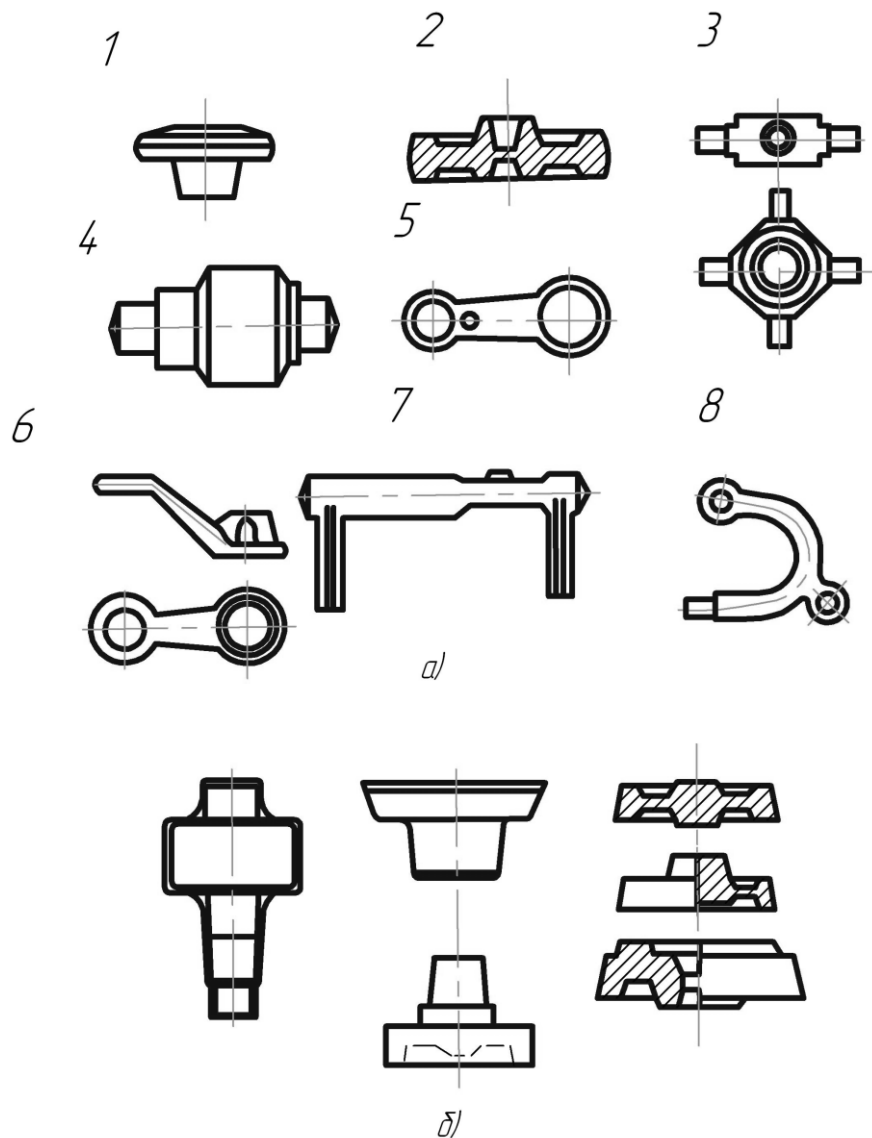


Рис. 4.51. Основні типи штампованих заготовок:

а) – штампованих у відкритих штампах;

1 – 3 – штампування в торець; 4 - 8 – штампування плазом;

б) – штампованих у закритих штампах

У залежності від групи серійності, форми поковки та використовуваного обладнання застосовують такі види об'ємного штампування: відкрите (з облоєм), закрите (безоблойне) і штампування витискуванням.

У більшості випадків для штампування застосовують універсальне обладнання: молоти, преси і горизонтально-кувальні машини.

Штампування на молотах

Штампування на молотах (ШМ) займає ведуче місце за кількістю поковок, що штампуються.

До достоїнств штампування на молотах відносяться: можливість деформування заготовки швидко і багатократно в кожному рівчаку штампа, що забезпечує великі сумарні деформації (це особливо важливо для заповнення значних виступів на поковці). Багатократні обтискання дозволяють виконувати надзвичайно енергоємні операції.

Г. Гофмейстером установлена така закономірність (рис. 4.52): при витисканні металу на молоті (а) $h_6 \approx 2 h_H$, а на пресі (б) $h_H \approx 1,5 h_6$. Тобто, при штампуванні на молотах (ударні навантаження) метал, приблизно, в два рази інтенсивніше заповнює верхній рівчак, а на пресі (плавні навантаження), приблизно, у 1,5 разу інтенсивніше заповнюється нижній рівчак. Це необхідно урахувати при проектуванні техпроцесу та штампу.

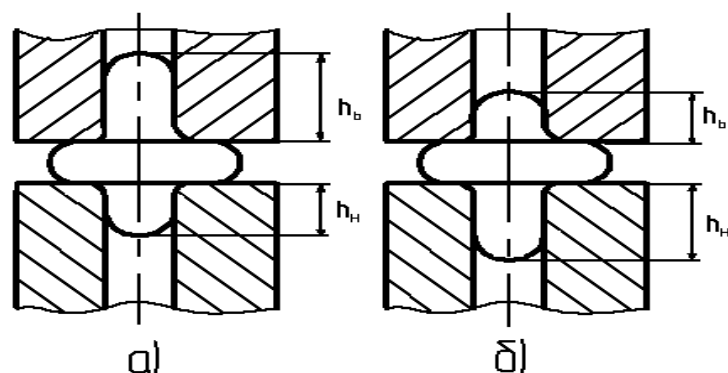


Рис. 4.52. Схеми заповнювання рівчаків при штампуванні на молотах (а) та пресах (б)

Конструкції молотів та їх основні характеристики

Для ГШМ застосовують пароповітряні молоти подвійної дії з масою падаючих частин до 25 т, безшаботні молоти з енергією удару до 1,5 МДж і, іноді, молоти простої дії (з дошкою, канатом, тонким штоком та інші).

У пароповітряних молотах енергоносієм є пара, що подається з котельні, або стиснене повітря під тиском 0,6-0,7 МПа, що подається від компресора.

Пароповітряний молот (рис. 4.53) складається з: 1-робочий циліндр, 2-поршень, 3 та 8-ліва і права станини, 4-шток, 5-баба, 6-пружини амортизаційні, 7-верхній штамп, 9-направляючі, 10-підштампова подушка, 11-шабот, 12-золотник, 13-педаць управління.

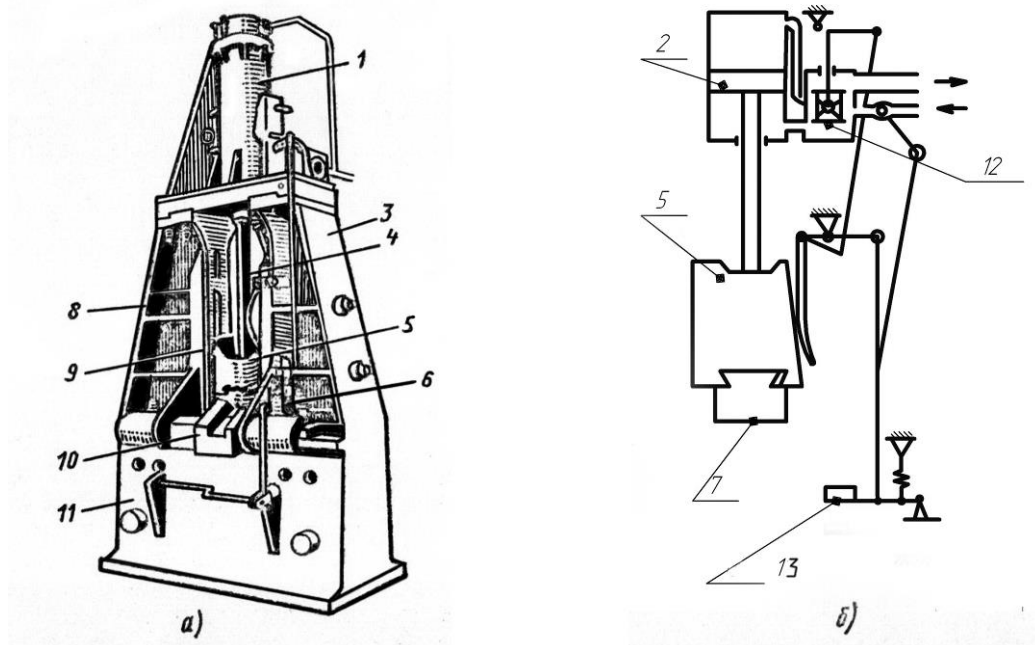


Рис. 4.53. Пароповітряний штампувальний молот:
а – загальний вигляд; б – схема

Потужність молота визначається масою падаючих частин. Ці молоти універсальні і їх застосовують для усіх видів ГШ. Звичайно маса падаючих частин 1-25 т. Крім звичайних пароповітряних молотів для ГШ застосовують безшаботні молоти, в котрих важкий шабот замінений рухомою бабою. При ході вниз верхня баба тягне за собою сталеву стрічку, котра піднімає нижню бабу до співударення з верхньою.

Баби молота можуть мати також важільний або гідравлічний зв'язок. Безшаботні молоти не викликають трясіння ґрунту або будівель, тому їх застосовують на слабких ґрунтах, на верхніх поверхах будинків, на плавучих базах тощо.

Розробка креслення штампованої заготовки (поковки)

Поковки, які виготовляють на штампувальних молотах, у залежності від складності конфігурації можуть бути розділені на три групи:

I – вали, важелі, зігнуті важелі (у тому числі з кривою лінією рознімання), типу підкови та вилки, з витягнутою віссю та відростком (їх штамнують плазом);

II – шків, шестерні, кришки, витягнені з фланцем, хрестовини та інші (їх штамнують у торець);

III – найскладніші типу корпусів, колін валів і т.п., що ніби то складаються з багатьох окремих поковок.

Креслення штампованої поковки розробляють за кресленням готової деталі, керуючись такими правилами:

1) розміщення волокон металу в поковці повинно сприяти поліпшенню експлуатаційних властивостей деталі;

2) припуск на механічну обробку різанням призначають на ті елементи деталі, на котрих шорсткість поверхні і точність не можуть бути отримані обробкою тиском;

3) при установленні площини рознімання штампа необхідно враховувати, що рівчак у верхньому штампі заповнюється легше, ніж у нижньому;

4) технічні вимоги до поковок з конструкційної вуглецевої і легованої сталі призначають за ГОСТ 8479-85. За цим ГОСТом поковки в залежності від призначення і умов роботи розділяються за видами випробувань на 5 груп:

I – без випробувань,

II – визначення твердості (поковки з однієї марки сталі, що пройшли спільну термообробку),

III – визначення твердості (поковки з однієї марки сталі, що пройшли термообробку за одним режимом),

IV – випробування на розтягування, ударну в'язкість і твердість (поковки з однієї плавки сталі, котрі спільно пройшли термообробку),

V – випробування на розтягування, ударну в'язкість і твердість (приймають індивідуально кожну поковку);

5) на кресленні поковки указують основні технічні умови (ТУ);

6) величину припусків, допусків, штампувальних уклонів, радіусів переходів, розміри ребер та бобишок, намічань та перемичок під прошивку установлюють за ГОСТ 7505-89 або за нормальними;

7) на кресленні поковки необхідно указувати тонкою штрих-пунктирною лінією з двома точками (рис. 4.54) основні контури готової деталі, що дає наглядне уявлення про величину припусків на механічну обробку, а в дужках – розмір деталі;

8) площину рознімання штампа позначають $x-\cdots-x$;

9) на кресленні поковки (рис. 4.55) повинні бути указані основні технічні вимоги на приймання поковок. Додаткові вимоги до відповідальних деталей повинні бути указані на кресленні штампованої поковки (наприклад, місце клеймування, зразки для механічних випробувань, місце заміряння твердості тощо).

Детальніше правила оформлення креслення поковки викладені в ГОСТ 3.1126-88.

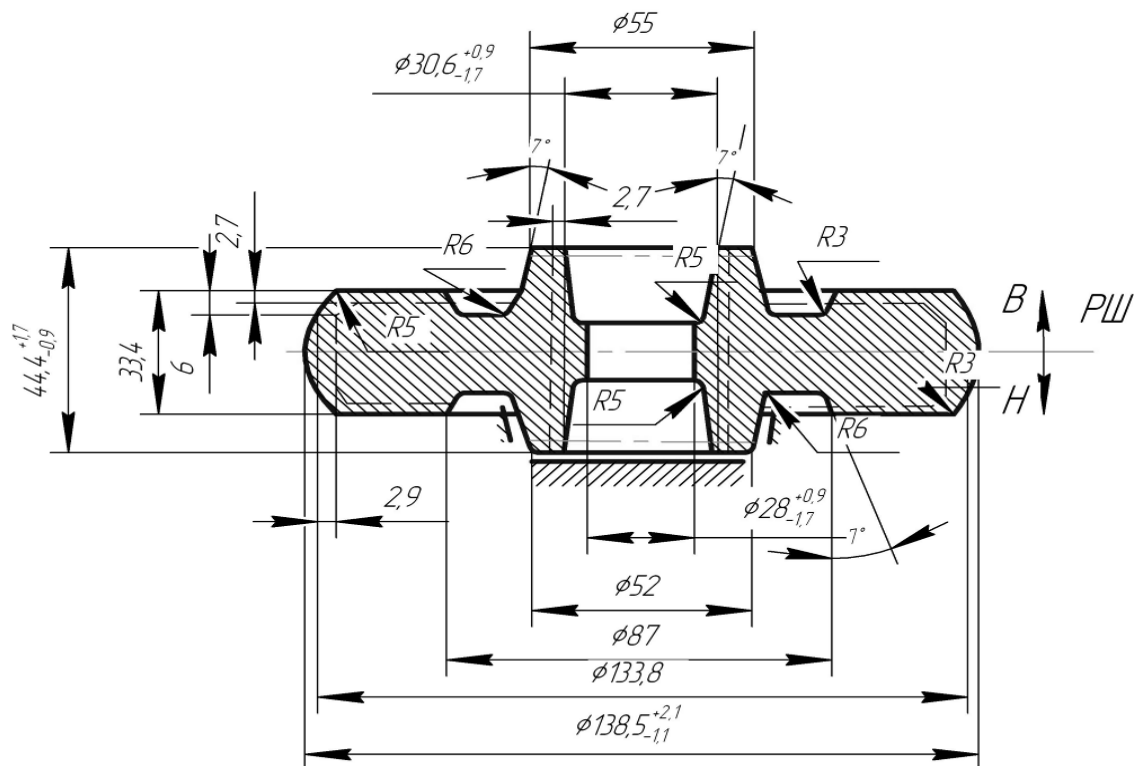


Рис. 4.54. Штампована заготовка

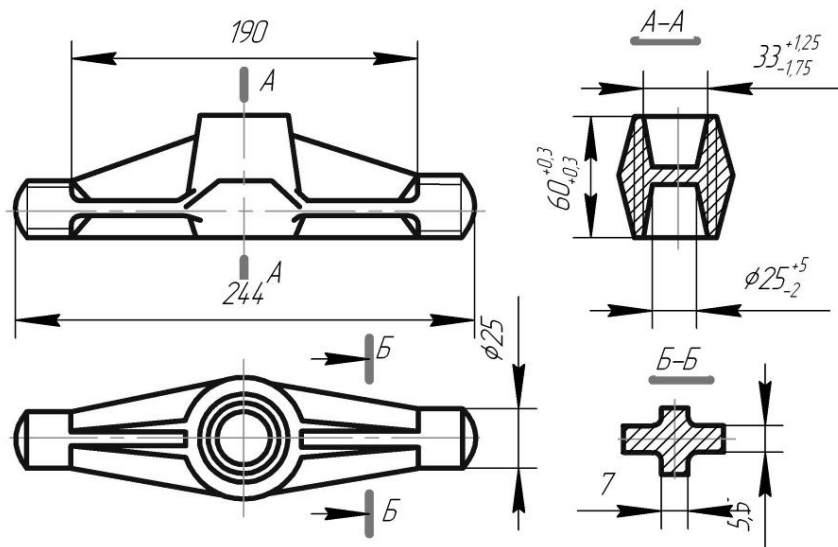


Рис. 4.55. Типове креслення поковки

Технічні вимоги: 1) зміщення не більше 1 мм; ексцентричність отвору – не більша 1 мм; 2) глибина зовнішніх дефектів - не більша половини фактичного припуску; 3) очистка поверхні у відновному середовищі; 4) задирка кругом не більша 0,5 мм; 5) нормалізація до НВ 156-217; 6) матеріал – сталь 45; 7) маса 1,7 кг

Величина допусків і припусків на розміри штампованих поковок визначається за вихідним індексом, величина якого залежить від маси поковки, групи металу, ступеня складності і класу точності поковки.

Допуск на недоштампування, знос штампів та їх зміщення приймають у залежності від маси штампованої поковки. Усе це визначають за ГОСТ 7505-89.

Конструкція рівчаків штампів

При проектуванні рівчаків штампів у них передбачають наступні елементи [3,4,27,107,120].

Штампувальні уклони – це ті уклони в штампі, які поліпшують заповнюваність порожнини рівчака штампа і завдяки котрим можна легко витягнути поковку з штампа. На поковках розрізняють зовнішні і внутрішні уклони. Внутрішні ШУ повинні бути більшими від зовнішніх. Для зменшення витрат металу ШУ повинні бути мінімальними. Для різних металів ШУ не однакові. Наприклад, для дюралюмінію ШУ майже вдвое менші ніж для сталі через менші сили тертя між деформованим металом і штампом. Згідно з ГОСТ 7505-89 при штампуванні сталей для молотових штампів зовнішні уклони приймають до 7° , внутрішні – до 10° . Прийняті значення уточнюють експериментально.

Радіуси скруглень. Розрізняють зовнішні та внутрішні радіуси скруглень. Радіуси скруглень сприяють кращому заповненню порожнини рівчака штампа, а також захищають штамп від передчасного зносу та поломок. Величина мінімальних зовнішніх радіусів скруглень на поковках визначається за ГОСТ 7505-89 і залежить від глибини порожнини рівчака штампа. Вона знаходиться в межах від 1 до 8 мм. Внутрішні радіуси скруглень на поковках призначають на договірній основі за вимогою замовника. Внутрішні радіуси скруглень на поковках, як правило, в 2-3 рази більші від зовнішніх.

Намічання отворів та перемички під прошивання. При ГШ намагаються отримати виїмки під отвори якнайбільшого об'єму, що приводить до економії металу і зменшення механічної обробки. При штампуванні заготовок з глибокими порожнинами в найважчих умовах працюють виступи штампів, які називаються знаками.

Через малу стійкість знаків порожнини діаметром меншим від 30 мм не виконують. При штампуванні високих поковок обмежуються отриманням лише глухих намічань глибиною до $0,8 D$, а отвори отримують механічною обробкою.

Виконання наскрізних отворів за дві операції (прошиванням та пробиванням) або заглиблень у поковках обов'язкове, якщо діаметр отвору більший або дорівнює висоті поковки.

На рис.4.56-4.68 показані типи штамів, їх елементів та приклади конструювання поковок.

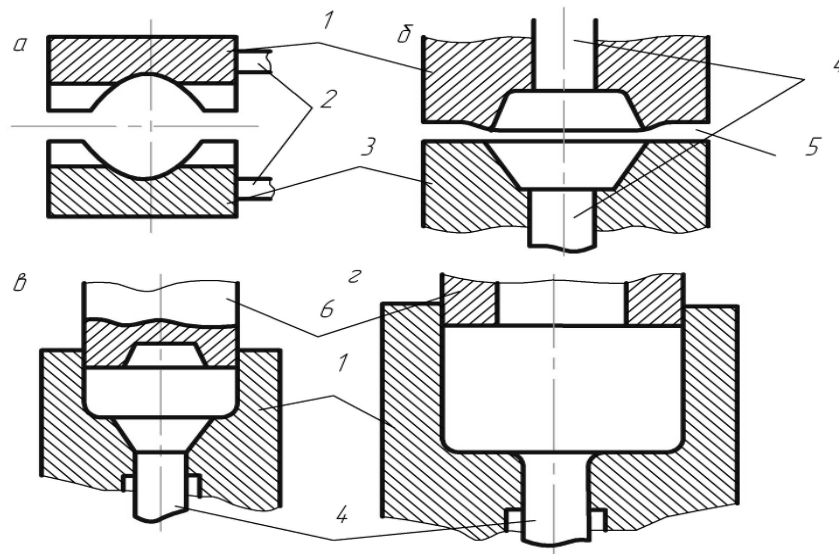


Рис. 4.56. Типи штамів:

а) – підкладний; б)- відкритий (облойний); в) – закритий (безоблойний);
г) – для видавлювання; 1, 3 – верхня і нижня матриці; 2 – скоби;
4 – виштовхувач; 5 – нагромаджувач (магазин); 6 – пуансон

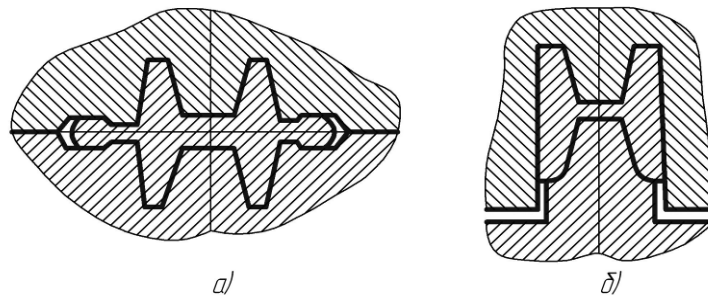


Рис. 4.57. Схеми штампування в штампах:

а – у відкритих; б – у закритих

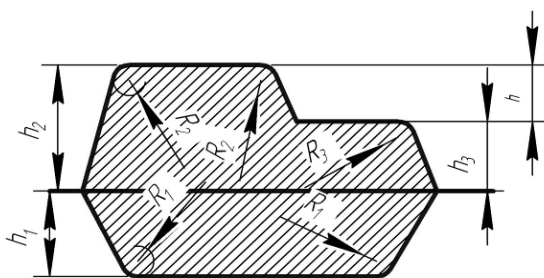


Рис. 4.58. Радіуси закруглень на поковці

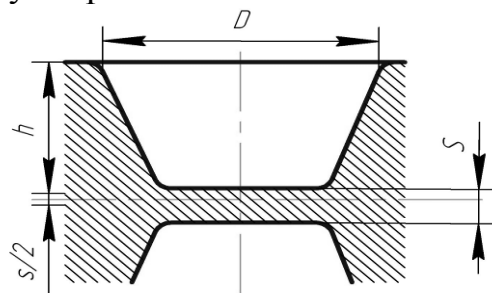


Рис. 4.59. Плоска перемичка S молотової поковки

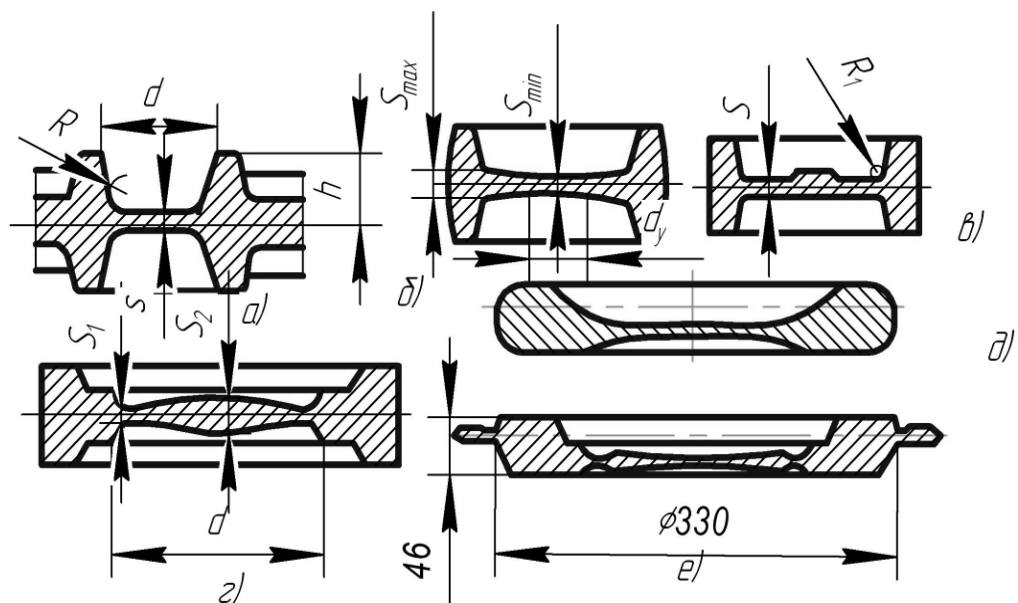


Рис. 4.60. Намітки заглибин для отворів у поковках та перемички

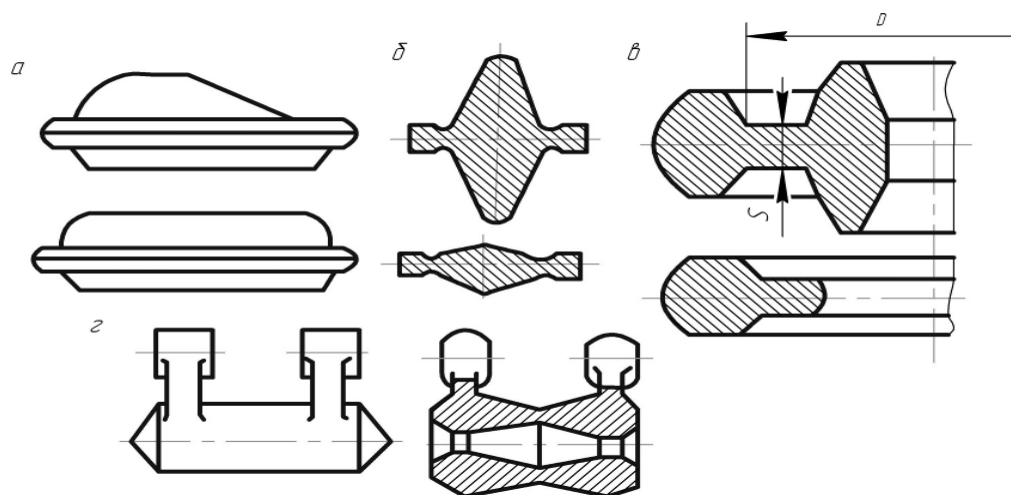


Рис. 4.61. Приклади неправильної (зверху) та правильної конструкції штампованих поковок

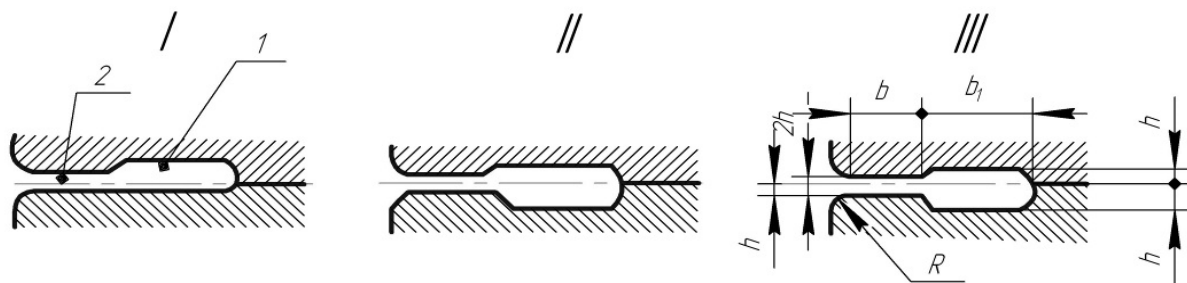


Рис. 4.62. Типи канавок молотових штампів:
1 – магазин; 2 – місток

Канавки для облою. Основною умовою заповнення порожнини штампа металом є умова, що опір течії металу у порожнину для облою буде більшим від опору течії у порожнину штампа. У штампах канавку для облою виконують тільки в остаточному штампувальному рівчаку по периметру порожнини у площині рознімання. Канавка складається з двох частин (рис. 4.62): мостика та магазину. При правильно спроектованій канавці облой стискається тільки в зоні мостика з шириною b і глибиною $2h$, котра визначає товщину облою. Магазин призначений для приймання надлишкового металу і його об'єм (ширину b_1 та глибину $2h_1$) необхідно вибирати досить великим, щоб у зоні магазину не проходило значного стискання (осадки) облою. Напуски, припуски, допуски а також форми перемичок і радіуси закруглень наведені на рис. 4.63 і 4.64.

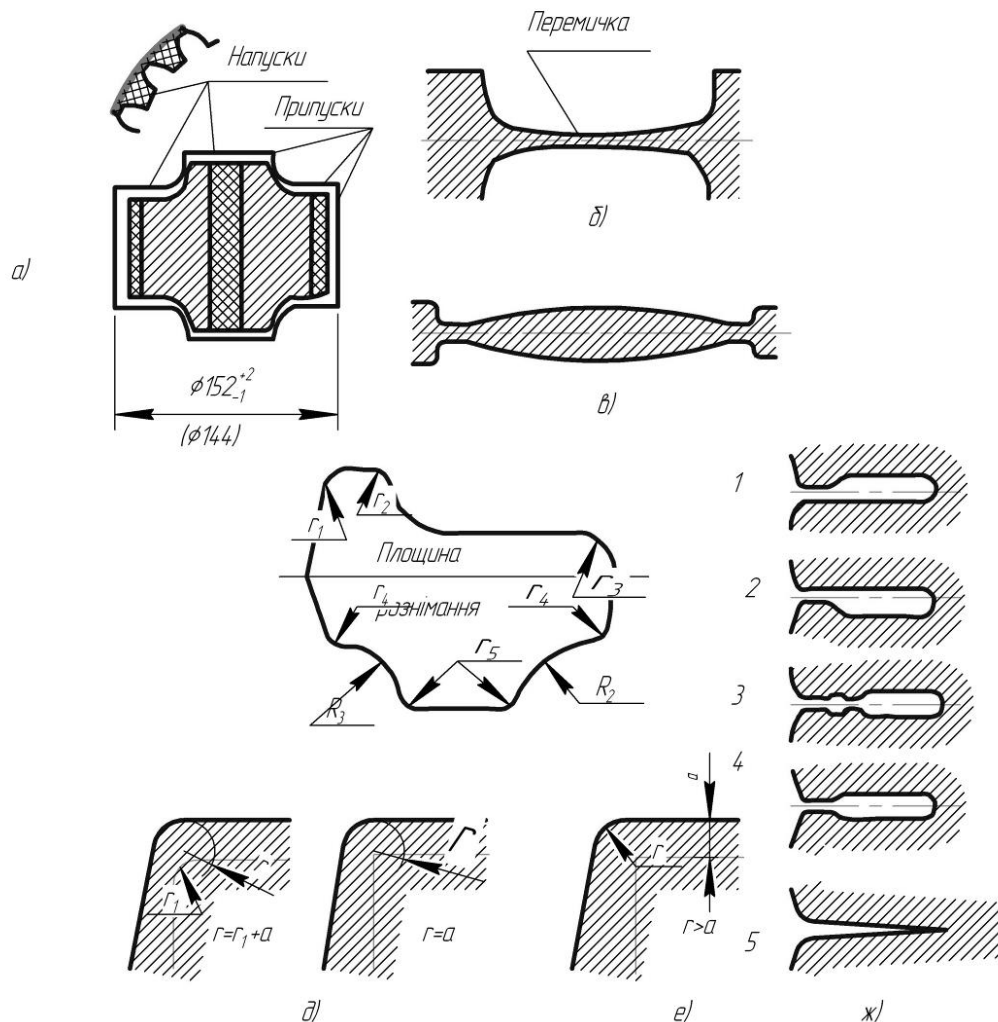


Рис. 4.63. Схема розробки креслення поковки:

а – напуски, припуски і допуски; б, в – форми перемичок; г, д, е – радіуси закруглення; ж – форми облойної канавки

Найчастіше застосовують облойні канавки трьох типів (рис. 4.62):

I тип – для штамів усіх видів. Він найширше розповсюджений. Забезпечується велика стійкість мостика (виступа), тому що верхня половина штампа прогривається менше ніж нижня;

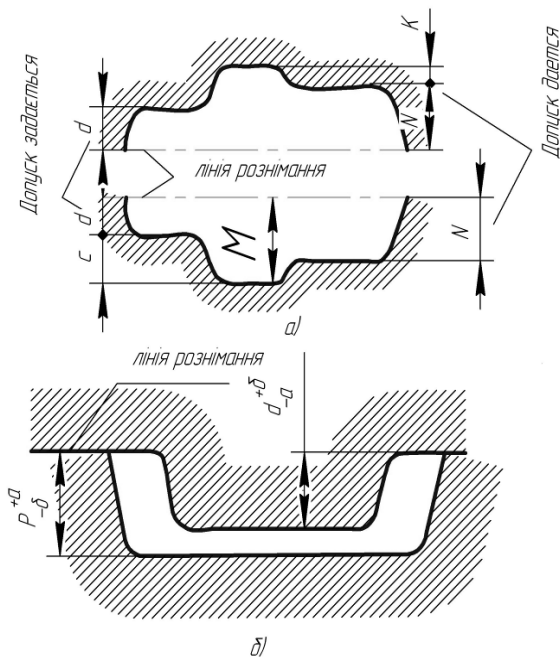


Рис.4.64. Проставляння допусків на вертикальні розміри молотового штампа:

а – загальна схема; б – у залежності від положення робочої поверхні штампа відносно лінії рознімання

II тип – при обрізуванні облою з поворотом поковки, тобто у положенні, протилежному положенню поковки в остаточному рівчаку, а також, коли поковка повністю штампується в нижній половині штампа;

III тип – при збільшеному об'ємі облою, наприклад, при значному коливанні довжини заготовки, а також при складних поковках з метою збільшення об'єму магазину.

Роз'єм штампів. Його положення і форма залежать від різних факторів і у першу чергу від форми поковки. Площина рознімання повинна забезпечити заповнюваність рівчака і вільне витягання поковки з штампа. Лінія рознімання штампа може бути прямою і ламаною.

Як правило, роз'єм штампа необхідно установлювати у площині двох найбільших взаємно перпендикулярних розмірів поковки. Схема для вибору площини рознімання штампа наведена на рис. 4.65.

Види рівчаків штампів

Різнорізнанітні рівчаки штампів для виготовлення поковки важеля у відповідності з переходами штампування показані на рис. 4.66.

Молотовий штамп має робочі елементи і елементи для транспортування, установки і кріплення штампа. Рівчаки молотових штампів діляться на три групи: заготовчі, штампувальні, відрубні (ножі).

Заготовчі рівчаки (рис. 4.67) застосовують для перерозподілу об'єму металу заготовки (фасонування) і до них відносяться такі типи рівчаків:

перетискний – для місцевих перетискань заготовки, для зменшення площі поперечних перерізів;

підкатний відкритий – для збільшення площі поперечних перерізів

заготовки в одних місцях за рахунок зменшення перерізу вихідної заготовки в інших місцях;

підкатний закритий – для набору металу у певному місці;

протяжний – для збільшення довжини вихідної заготовки або її частини;

формувальний – для надання заготовці форми, близької до форми поковки у плані, при незначному осьовому переміщенні металу;

згинальний – для згинання заготовки, незначного осьового переміщення металу і перетискання заготовки в окремих перерізах.

Штампувальні рівчаки призначені для формоутворення штампованих поковок заданої конфігурації та розмірів:

попередній рівчак – для отримання форми заготовки, близької до остаточної, а також для підвищення стійкості остаточного рівчака і поліпшення умов течії металу;

остаточний рівчак – для одержання поковки, конфігурація котрої відповідає вимогам креслення і технічним умовам.

Відрубний рівчак застосовується для відділення поковки від вихідної заготовки. Поковку кладуть перешийком на відрубний ніж і одним ударом відрубують від вихідної заготовки.

До робочих елементів багаторівчакового штампа відносяться рівчаки, канавки для облою, замки і контрзамки, виїмки для кліщовими, ливникові канали (рис. 4.68).

Визначення розмірів вихідної заготовки

Об'єм вихідної заготовки V_b дорівнює сумі об'ємів поковки, облою та вигару. Об'єм поковки визначають за її кресленням. Об'єм на вигар складає 1,5-2,0 % (до 3 %) від об'єму заготовки при нагріванні її в полум'євих печах і 0,3-0,5 % (до 1 %) – в електричних.

Переріз вихідної заготовки залежить від прийнятої комбінації рівчаків при штампуванні.

Для поковок, що виготовляються осадкою в торець, діаметр D_b або сторону квадрата a_b визначають за формулами:

$$D_b = 1,08 (V_b / m)^{1/3}, \text{ мм}; \quad a_b = (V_b / m)^{1/3}, \text{ мм},$$

де m – коефіцієнт; $m = L_b / D_b$; L_b – довжина вихідної заготовки.

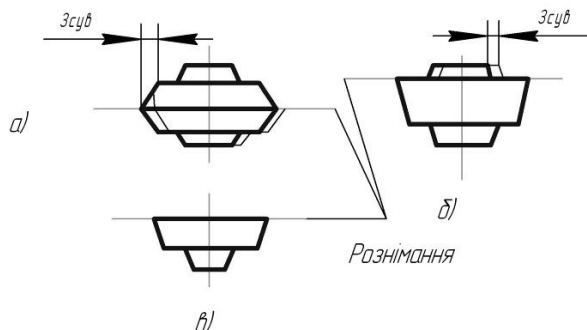


Рис. 4.65. Схема для вибору площини рознімання штампа:

а – правильна; б – неправильна;

в – можлива

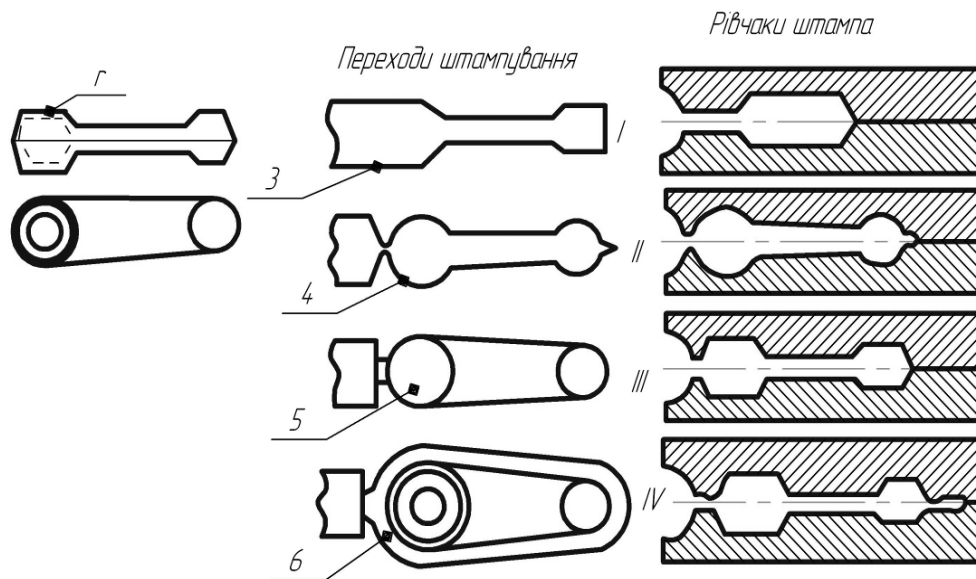


Рис. 4.66. Послідовність виготовлення поковки важеля у багаторівчаковому молотовому штампі:

1 – нижня частина штампа; 2 – поковка, переходи штампування;
3 – протягування, 4 – підкатка, 5 і 6 – попереднє та остаточне штампування; I –IV – відповідні рівчаки штамп

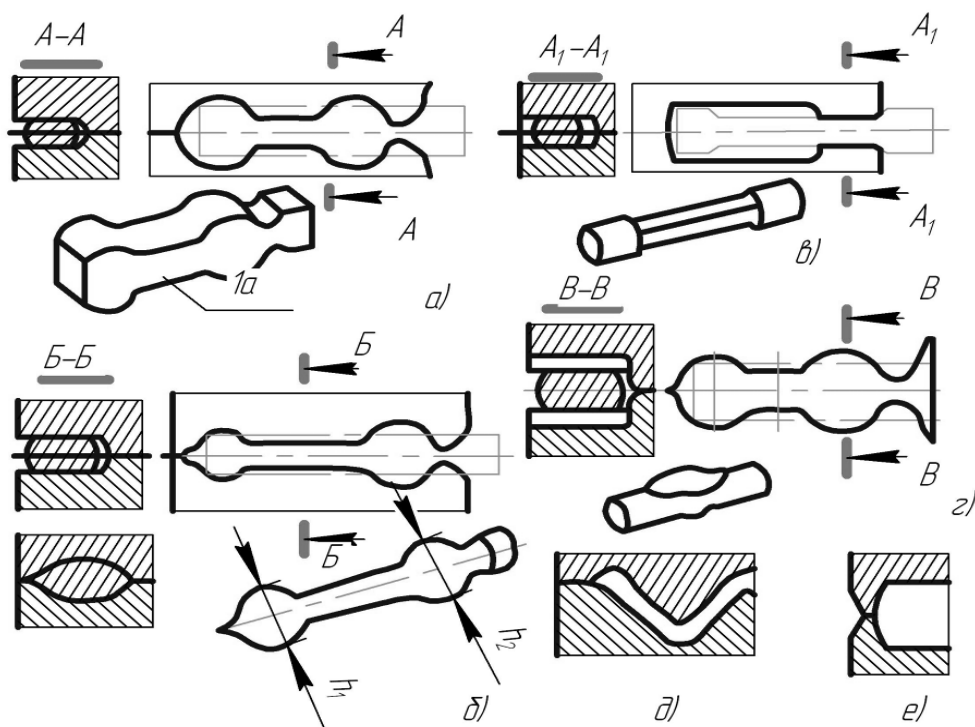


Рис. 4.67. Схеми заготовчих рівчаків
Види рівчаків штампів

Для якісного відрізування заготовки на пресножицях необхідно, щоб коефіцієнт m був не меншим 1,25. Якщо $m > 2,5$, може мати місце втрата стійкості заготовки при штампуванні в торець. Тому при штампуванні на молотах звичайно приймають $m = 1,25-2,5$.

Після визначення D_b або a_b вибирають найближчий у бік збільшення розмір перерізу прокату за відповідним ГОСТом і остаточно перераховують довжину вихідної заготовки.

При штампуванні заготовки видовженої форми (плазом) метал не повинен значно переміщуватися уздовж осі заготовки (якщо немає протяжного рівчака).

Переміщення металу проходить переважно перпендикулярно до поздовжньої осі заготовки. Площа поперечного перерізу фасонованої заготовки перед штампувальним рівчаком у будь-якому місці повинна бути рівною сумарній площі перерізу поковки і облою.

Для поковок з витягнутою віссю площа поперечного перерізу вихідної заготовки F_b визначається за такими формулами:

при наявності перетискного, формувального або підкатного рівчака –

$$F_b = (1,0-1,3) V_b / L_b;$$

при наявності протяжного рівчака –

$$F_b = V / l,$$

де V – об'єм непротягнутої частини заготовки,
 l – довжина непротягнутої частини заготовки.

Остаточно довжину вихідної заготовки визначають за формулою

$$L_b = V_b / F_b.$$

При штампуванні з кліщовиною до отриманої довжини вихідної заготовки додають довжину кліщового кінця.

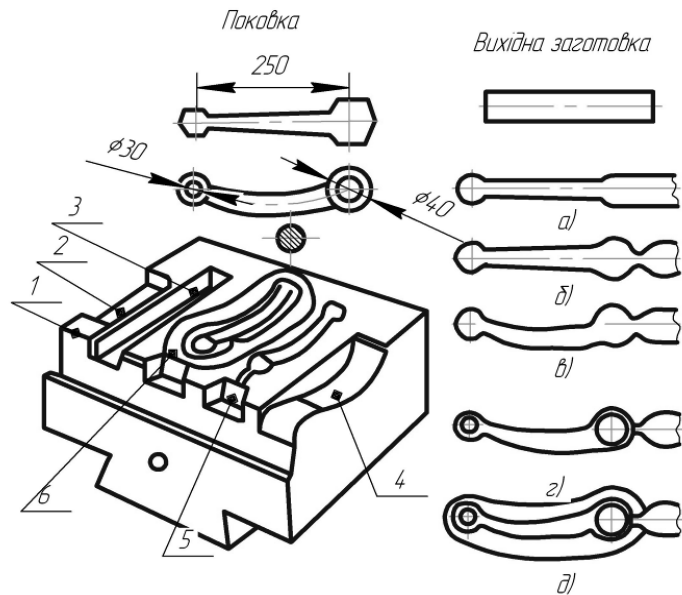


Рис. 4.68. Багаторівчаковий штамп:

1 – штамп; 2 – протяжний рівчак;

3 – підкатний рівчак; 4 – згинальний рівчак; 5 – попередній рівчак;

6 –остаточний рівчак.

Переходи: а – протягування; б – підкатка;

в – згинання; г – попереднє та

д) – остаточне штампування

Вибір переходів штампування

Поковки І групи видовженої форми, як правило, штампують плазом у багаторівчакових штампах. На рис. 4.68 показано молотовий штамп для штампування зігнутого важеля. Важіль штампують з катаної заготовки, котра послідовно оброблюється в таких рівчаках:

а) в протяжному рівчаку 2 за велику кількість ударів з поворотом навколо і переміщенням уздовж осі;

б) у підкатному рівчаку 3 за декілька ударів з поворотом заготовки навколо поздовжньої осі;

в) у згинальному рівчаку 4 за декілька ударів без переміщення і повороту заготовки 4;

г) у попередньому штампувальному рівчаку 5 за декілька ударів;

д) у остаточному штампувальному рівчаку 6 за декілька ударів з витисканням надлишкового металу в облойну канавку.

Обрізування облою виконується як окрема операція за допомогою обрізного штампа.

Заготовка після протяжного та підкатного рівчаків має перемінний переріз.

Це дає можливість значно зекономити метал за рахунок зменшення облою.

Поковки ІІ групи штампують в торець за один, два і рідше за три переходи, причому метал деформується осадкою, витискуванням, прошиванням і їх комбінаціями. За один перехід штампують поковки простої конфігурації і, як правило, котрі мають форму тіл обертання.

За два переходи штампують поковки, що представляють собою обід з диском. При штампуванні невеликих поковок у першому переході осаджують заготовку на спеціальній площадці, передбаченій в конструкції штампа; при штампуванні великих заготовок – на рядом усталовленому молоті.

Поковки ІІІ групи мають найскладнішу форму. При їх виготовленні як заготовчі рівчаки застосовують площадку для осадки або рівчак типу формувально-перетискного, а як штампувальні рівчаки – попередній і остаточний.

Якщо поковка за співвідношенням розмірів у плані може бути віднесена до ІІ групи, то застосовують штампування в торець і, відповідно, визначають розміри вихідної заготовки, як для поковок ІІ групи. Для поковок змішаної конфігурації переходи штампування і розміри вихідної заготовки визначають за наведеними вище правилами для поковок І та ІІ груп. Якщо заготовчі та штампувальні рівчаки не поміщаються в одному штампі, то рекомендується штампувати поковку на двох або більше молотах з одного нагріву.

Побудова розрахункової заготовки

При штампуванні плазом для побудови форми заготовчого рівчака удаються до побудови розрахункової заготовки 2 (рис. 4.69) та епюри її перерізів 4.

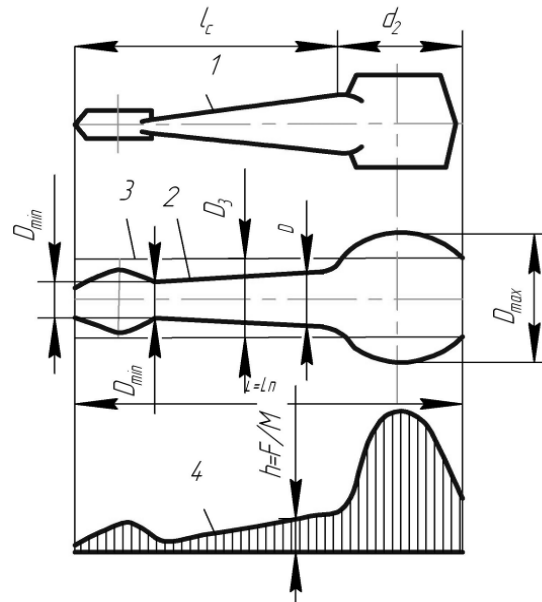


Рис. 4.69. Елементарна розрахункова заготовка та епюра її перерізів:

1 – поковка; 2 – розрахункова заготовка; 3 – середня розрахункова заготовка; 4 – епюра перерізів

Розрахунковою називається уявна заготовка з круглими поперечними перерізами, площі котрих F_p дорівнюють сумарній площі відповідних перерізів штампованої поковки 1 F_n та облою F_o . Звідси витікає, що $F_p = F_n + F_o$, де F_p , F_n , F_o - площі поперечного перерізу, відповідно, розрахункової заготовки (у довільному місці), поковки і облою. Отриману площу прирівнюють до площі круга, діаметр D_p якого є діаметром розрахункової заготовки в розглядуваному перерізі і визначається з рівняння $D_p = 1,13 \sqrt{F_p}$.

Визначивши ряд значень D_p для характерних поперечних перерізів поковки і відклавши відрізки поперечних діаметрів на лініях цих перерізів (симетрично відносно осі), з'єднують крайні точки відрізками прямих і плавними кривими. У результаті отримують креслення розрахункової заготовки, або епюру 2 приведених діаметрів.

Якщо в масштабі M відкласти на ординатах величини характерних перерізів F_p у вигляді відрізків $h = F_p / M$, то, з'єднавши кінці цих відрізків, отримаємо епюру 4 перерізів розрахункової заготовки. Тобто епюрою перерізів називають діаграму, кожна ордината котрої у певному масштабі M представляє собою відповідну площу поперечного перерізу розрахун-

кової заготовки.

Середньою розрахунковою заготовкою 3 називається циліндр діаметром D_3 і довжиною, що дорівнює довжині поковки ($L = L_n$), та об'ємом, який дорівнює сумі об'ємів поковки та облою ($V = V_n + V_o$). Площа перерізу середньої розрахункової заготовки $F_3 = V / L_n$, а діаметр

$$D_3 = 1,13 \sqrt{F_3} = 1,13 \sqrt{V / L_n}.$$

Таким чином, розрахункова заготовка 2 за формою відповідає фасонній заготовці, котра повинна деформуватися в штампувальному рівчаку, а середня розрахункова заготовка 3 відповідає вихідній заготовці постійного перерізу, з котрої в заготовчих рівчаках штампа необхідно отримати фасонну розрахункову заготовку.

Частина розрахункової заготовки, в межах якої $D > D_3$, називається головою, а різниця між об'ємом головки і об'ємом середньої розрахункової заготовки в межах головки (на довжині l_c) – об'ємом, якого не вистачає. Частина розрахункової заготовки, в межах якої $D < D_3$, називається стержнем, а різниця між об'ємом середньої заготовки і об'ємом стержня (на довжині l_c) – надлишковим об'ємом.

Основне призначення заготовчих переходів – витискання надлишкового об'єму металу в головку. Для переміщення надлишкового металу з області стержня в область металу, якого не вистачає в головці, необхідна певна величина роботи деформації. Величина цієї роботи залежить від таких показників:

а) відношення $\alpha = D_{max} / D_3$, тому що зі збільшенням цього відношення збільшується шлях переміщення металу;

б) відношення $\beta = L / D_3$, тобто від величини шляху, на якому проходить переміщення металу;

в) відношення $c = (D_k - D_{min}) / l_c$, тобто від конусності стержня (D_k , D_{min} – найбільший та найменший діаметри стержня на довжині l_c).

Визначивши коефіцієнти α , β та c , що характеризують ступінь складності перетворення вихідної заготовки в фасонну, установлюють необхідні заготовчі рівчаки, користуючись діаграмою, розробленою А. В. Ребельським (рис. 4.70).

Наприклад, необхідно визначити переходи штампування для поковки типу шатуна масою 2 кг, якщо $\alpha = 1,2$; $\beta = 5,0$; $c = 0,03$. Для цього на вертикальний шкалі діаграми, що відповідає масі поковки понад 1 кг, відкладаємо відрізок, що дорівнює значенню коефіцієнта $\alpha = 1,2$, і проводимо вправо горизонтальну лінію. На осі абсцис діаграми відкладаємо відрізок, що дорівнює значенню коефіцієнта $\beta = 5$, і проводимо вертикальну лінію. Точка перетину знаходиться в області 5

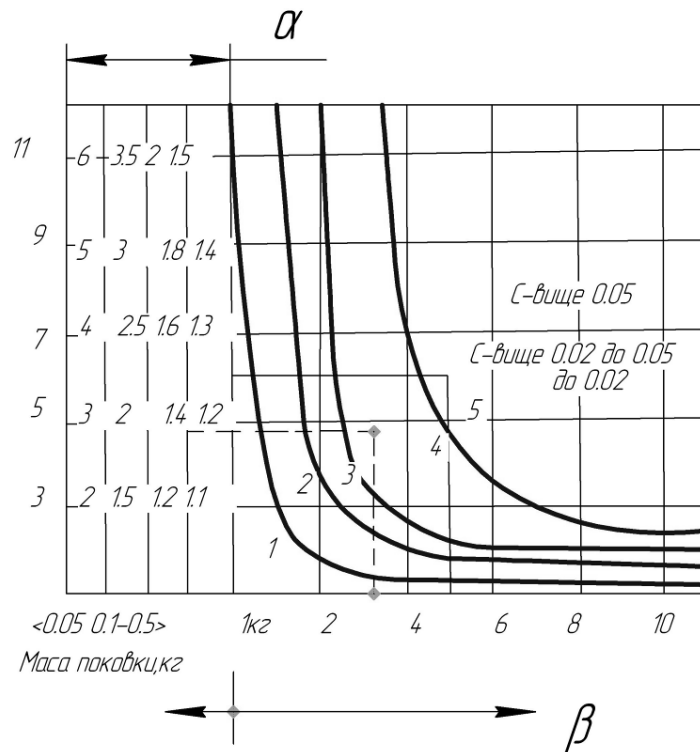


Рис. 4.70. Діаграма для вибору заготовчих рівчаків:

1 – без попередніх рівчаків; 2- перетискний рівчак; 3 – підкатний відкритий рівчак; 4 – підкатний закритий рівчак; 5 – один протяжний рівчак або комбінація з підкатним

діаграми, тобто для отримання розрахункової заготовки необхідно застосувати протяжний рівчак. Тому, що $0,02 < c < 0,05$, то слід застосувати протяжний рівчак у комбінації з підкатним відкритим рівчаком.

Для зони 5 діаграми застосовують, якщо:

$C \leq 0,02$ – тільки протяжний рівчак;

$0,02 < c \leq 0,05$ – протяжний рівчак з підкатним відкритим;

$0,05 < c$ – протяжний рівчак з підкатним закритим.

Конструкції штамів, оформлення креслення штампа

Молотові штампи в основному бувають з суцільних блоків і тільки з однією площиною рознімання [27,32,120].

При штампуванні на молотах використовують відкриті та закриті штампи. У них заготовчі рівчаки практично однакові, різниця тільки в штампувальних рівчаках та в об'ємі застосовуваної заготовки.

В умовах МСВ штампування може виконуватись у підкладних штампах.

При виготовленні молотового штампа (рис. 4.71) дві з чотирьох бокових граней кованого кубіка, як правило, не оброблюють. На них тільки простругують дві смуги висотою 50-60 мм від площини рознімання, утворюючи так званий „контрольний кут” 5. Глибину механічної обробки в усіх випадках приймають рівною 5 мм.

На кресленні указують координати штампувальних рівчаків. Проте розміри рівчаків (остаточного і попереднього) не указують. Замість того у примітці до креслення (або в ТУ) записують, що рівчаки штампа необхідно виготовити за кресленням „гарячої поковки”. На кресленні штампа також наводять креслення „гарячої поковки” з необхідними розмірами. У попередньому рівчаку необхідно проставити усі розміри, за якими він відрізняється від креслення поковки для виготовлення штампа. На кресленні штампа указують усі розміри заготовчих рівчаків.

На кресленні молотового штампа розміри хвоста не указують. Замість них дається примітка про номер хвоста за нормаллю. На осі хвоста роблять надпис „вісь хвоста”. Шпонковий паз також не рекомендується викреслювати. На осі шпонкового пазу роблять надпис „вісь шпонки”. Хвіст і шпонковий паз обробляють за шаблонами, котрі виготовляють за нормаллями. Отвори 4 для піднімання штампа також не викреслюють, їх виготовляють за нормаллями, як на хвіст та шпонковий паз. При розробці креслення штампа керуються ГОСТ 2.424-80 „Правила виконання чертежей штампов”.

Допуски на розміри, знаки обробки, місця клеймування штампа та кубіка на кресленні штампа не проставляють. Вони передбачені в ТУ на виготовлення штампа.

Молотовий штамп (рис. 4.71) складається з двох масивних блоків 1 та 2 з опорами – хвостами 3 для клиновидного кріплення. Верхня частина штампа кріпиться до баби, нижня – до штампотримача. Молотові штампи працюють при дуже великих динамічних навантаженнях. Кріплення молотових штамів повинно бути надійним та простим. Прийняті кріплення молотових штамів за допомогою хвоста ластівки, клина та шпонки – єдино можливі. ГОСТ 6039-82 регламентує розміри елементів кріплення штамів та бойків до баби та подушки.

На рис. 4.72 показані типові форми рівчаків штампа.

Перетискний рівчак (рис. 4.72, а) розміщується з лівого або правого боку від штампувальних рівчаків. Розміри профілю рівчака за висотою: $h_1 = 1,02 h$; $h_2 = D_3$, де h – мінімальна висота поковки; D_3 – фактичний діаметр заготовки. Ширина перетискного рівчака $B = F_3 / h_1 + (10-20)$, мм, де F_3 – площа перерізу заготовки; h_1 – мінімальна висота порожнини перетискного рівчака. Радіуси скруглення R вибирають з умови плавного спраження елементів рівчака.

Підкатний рівчак може бути відкритим (рис. 4.72, б) та закритим (рис. 4.72, в). Другий складніший у виготовленні, але дозволяє набирати більший об'єм металу порівняно з першим. Максимальна висота рівчака $H_0 = (1,0-1,1) D_{max}$, де D_{max} – діаметр заготовки максимального перерізу на епюрі (рис. 4.4.20). Розміри мінімального перерізу рівчака h_0 та ширину B , а також інші конструктивні розміри рівчака (a , b , c та інші) визначають за таблицями.

Протяжний рівчак буває відкритим (рис. 4.72, г) та закритим (рис. 4.72, д), причому закритий рівчак забезпечує більший ступень витяжки ніж відкритий. Протяжні рівчаки розміщують у штампі паралельно або під кутом до осі штампа і, як правило, з лівого боку від остаточного рівчака (рис. 4.71). Розміри елементів протяжного рівчака визначають у залежності від величини площ перерізів протягнутої заготовки, а також від діаметра та довжини вихідної заготовки.

Елементи протяжного рівчака, що залежать від перерізу протягнутого кінця заготовки F_{np} , дорівнюють:

$$h = 0,9 \sqrt{F_{np}}; A = 2,6 h; R = 6-3,2 \text{ мм}; R_1 = R_2 = 6-16 \text{ мм}.$$

При протягуванні середини заготовки розмір A приймають більшим від діаметра вихідної заготовки на 30 %. Інші елементи рівчака вибирають у залежності від діаметра вихідної заготовки D_0 :

$$B = (1,4-2,0) D_0, \text{ мм}; l = (1,1-1,5) D_0, \text{ мм}; R_3 = 8-25 \text{ мм}.$$

Попередній штампувальний рівчак розміщують з правого або з лівого боку від осі остаточного рівчака (рис.4.68). Він не має канавки для облою, а радіуси скруглень кромek роблять більшими, ніж в остаточному рівчаку. Штампувальні уклони у попередньому рівчаку будують від лінії рознімання.

Остаточний рівчак виготовляють за кресленням готової гарячої поковки. Якщо за штампувальні рівчаки приймають тільки остаточний, то його розміщують так, щоб центр рівчака співпадав з центром штампа. Центром рівчака є точка прикладання рівнодіючої сил деформування в основних її частинах. Центром штампа є точка перетину осей хвостовика та шпонки штампа у плані.

Якщо поковку виготовляють у двох штампувальних рівчаках (попередньому і остаточному), то їх розміщують по обидва боки від центру штампа (рис. 4.68).

Відрубний рівчак (рис. 4.72, е) розміщують або у передньому лівому куті штампа, або у задньому лівому куті (рис. 4.71). У залежності від форми відрубаної поковки, розміри переднього відрубного рівчака такі: висота $h = (c + b) + 10$, мм; ширина $B = 2 f + 30$, мм. Для заднього відрубного рівчака $h = H / 2 + 10$, мм, де H – товщина заготовки, мм.

Кут α приймають рівним 15° , 20° або 25° у залежності від компоновки рівчаків у штампі.

Замок призначений для створення перешкоди вільному переміщенню половин штампа відносно одна одної. Замок застосовують у тих випадках, коли при штампуванні з'являються зсувні зусилля. Замки бувають різної форми: круглі (рис. 4.73, а), кутові (рис. 4.73, б) та інші. Контрзамки (рис. 4.73, в) застосовують у штампах для поковок з ламаною або кривою лінією рознімання для зрівноваження горизонтальних сил, що намагаються зсунути верхню та нижню половини штампа одну відносно іншої.

Масу падаючих частин штампувального молота визначають за формулою:

$$G = k F, \text{ кг,}$$

де k – коефіцієнт, який приймають для пароповітряних молотів подвійної дії рівним 8, а для молотів простої дії – 12; F – площа горизонтальної проекції поковки, включаючи фактичний облой, см^2 . Точніше масу падаючих частин молота можна визначити за іншими формулами.

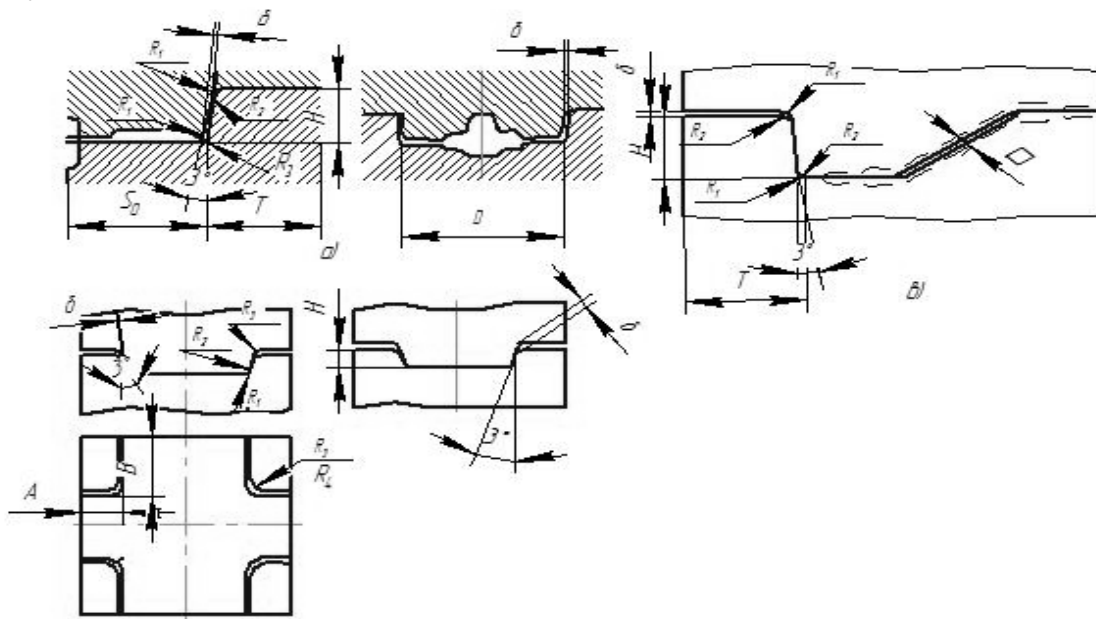


Рис. 4.73. Замки штампа

Контрольні питання для самоперевірки

1. Суть процесу штампування на молотах.
2. Достоїнства та недоліки штампування на молотах.
3. Конструкції молотів і їх основні характеристики.
4. Розробка креслення штампованої заготовки за ГОСТ 3.1126-88.
5. Конструкція рівчаків штампів.

6. Види рівчаків молотових штамів.
7. Визначення розмірів вихідної заготовки при штампуванні в торець.
8. Вибір переходів штампування для поковок різних груп.
9. Побудова розрахункової заготовки при штампуванні плазом
10. Визначення кількості переходів при штампуванні плазом.
11. Конструкції молотових штамів та оформлення креслення штампа.

4.5. Штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах

Загальні відомості

Умови деформування металу на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) відрізняються від умов деформування металу на молотах. Швидкість деформування на пресах значно менша, ніж на молотах, і складає 0,5-0,6 м/с (на молотах 5-8 м/с); крім того, преси мають визначену довжину ходу повзуна [6,33,34,50,63,101,117,120].

Точність штампування на КГШП приблизно на 30 % вища ніж на молотах. Це пояснюється, по-перше, відсутністю ударів при роботі, тобто меншою вірогідністю розрегулювання положення штамів; по-друге, більш точним направленням верхнього штампа (повзуна) відносно нижнього і наявністю менших зазорів між повзуном і направляючими станини; по-третє, визначеним положенням верхнього штампа в нижній точці, внаслідок чого недоштампування можливе тільки на величину пружних деформацій преса.

На КГШП забезпечується більш висока продуктивність, тому що деформація заготовки в рівчаку виконується за один хід повзуна. Наявність на пресах виштовхувачів дозволяє зменшити штампувальні уклони і застосувати штампування видавлюванням та закрите штампування.

Недоліки штампування на КГШП: вища вартість пресів ніж молотів; менша потужність, тому що не можна заготовку багаторазово деформувати в одному рівчаку; не можна регулювати силу удару; трудно виконувати операції протягування та осадки в зв'язку з певним ходом повзуна; можливість заклинювання преса.

Конструкції кривошипних пресів та їх основні характеристики

КГШП – найпрогресивніші машини для гарячого штампування. Вони призначені для виконання операцій ГШ і характеризуються певними силовими і енергетичними показниками. Преси цього типу випускають зусиллям від 2 до 100 МН, потужність головних електродвигунів 20-500 кВт, довжина ходу повзуна – 200-500 мм, кількість ходів – 95-35 за хвилину. До достоїнств цих пресів відносять швидкохідність, високу

жорсткість, невеликі габарити штампувального простору. За потужністю 1 т падаючої маси молота приблизно відповідає зусиллю преса 1000 т.

Кінематична схема КГШП показана на рис. 4.74: 1—електродвигун, 2—клинопасова передача, 3—маховик, 4—двоклиновий пристрій, 5—повзун, 6—вал, 7—передаточна шестірня, 8—зубчасте колесо, 9—кривошипний вал, 10—шатун, 11—гальмо, 12—штамп нижній, 13—похила площина станини, 14—поперечний клин, 15—багатодискова пневматична муфта. Нижній штамп кріпиться на столі преса, котрий має двоклиновий пристрій 4 для регулювання зазору між штампами.

Внаслідок відсутності ударних навантажень, на КГШП установлюють збірні штампи. Вони мають виштовхуючі пристрої для примусового виштовхування поковки після її формоутворення. Штампувальний простір преса у межах 10-20 мм по висоті регулюється столом особливої клинної конструкції, тобто міняється закрита висота штампа. Крім виставляння за допомогою клинів, стіл надійно фіксується болтами. ГОСТ 6809-87 регламентує параметри, розміри та норми точності кривошипних гарячештампувальних пресів.

Класифікація поковок

На рис. 4.75 показані поковки, штамповані на КГШП.

У залежності від конфігурації, поковки, що виготовляються на КГШП, можна розділити на 5 груп (рис. 4.5.3).

Як вихідні заготовки на КГШП використовують прокат різного профілю, пресовані прутки, попередньо фасоновані заготовки тощо.

Як правило, штампування виконують з мірних заготовок простого профілю, а також фасонного прокату (тобто перемінного перерізу).

Заготовки простого профілю бувають штучні (мірні), спарені та багатощтучні. Креслення поковок, що виготовляють на КГШП, складають за тими ж правилами, що і креслення поковок, які виготовляються на штампувальних молотах. Допуски, припуски та ковальські напуски призначають за ГОСТ 7505-89. При штампуванні на

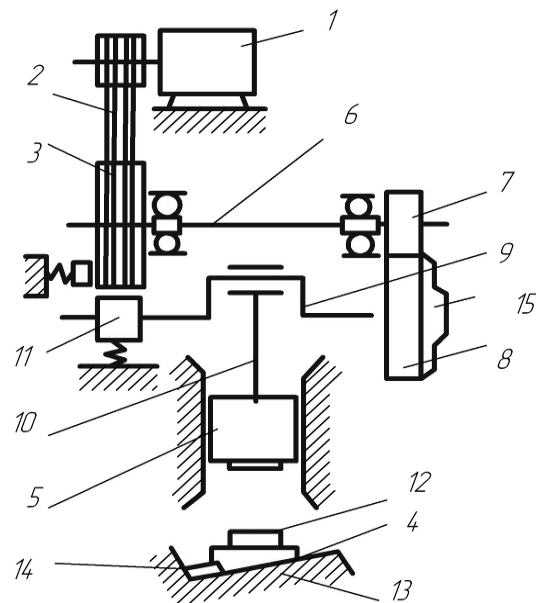


Рис. 4.74. Кінематична схема КГШП

пресах з виштовхувачами зовнішні уклони складають 3-5°, а внутрішні – до 7°. При штампуванні без виштовхувачів зовнішні уклони доходять до 7°, а внутрішні до – 10°, тобто такі ж, як і при штампуванні на молотах.

Визначення розмірів заготовок та вибір переходів штампування

Поковки І групи (рис. 4.76) штамнують у торець. Для усіх випадків штампування в торець довжина вихідної заготовки не повинна перевищувати $(2,2-3) D$, де D – діаметр заготовки.

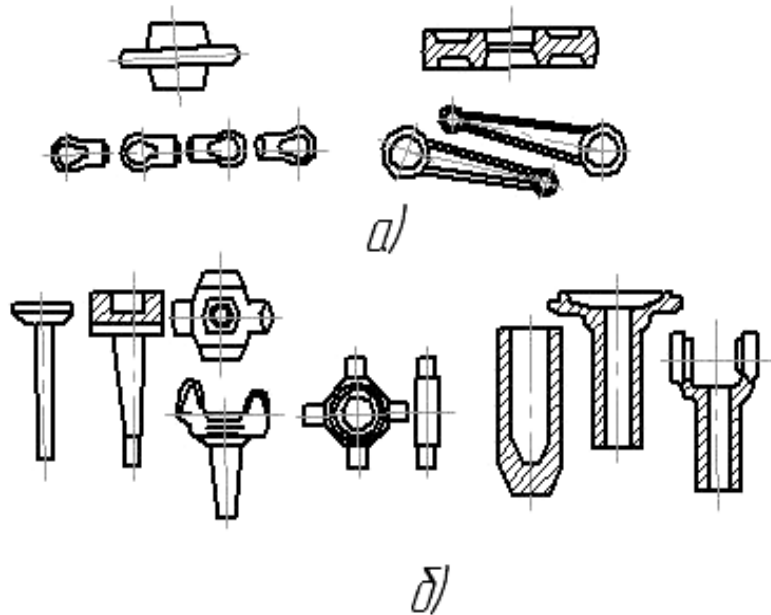


Рис. 4.75. Штамповані заготовки, отримувані на кривошипних гарячештампувальних пресах:

а – у відкритих штампах; б – у закритих штампах

Поковки І гр. при штампуванні на пресі виготовляють в одному або декількох рівчаках. Необхідність застосування двох та більше рівчаків викликається незаповнюванням порожнини штампа та підвищеним відходом металу в облой. Кількість переходів залежить від форми окремих частин поковки. Розміри вихідної заготовки визначаються так само, як і розміри заготовки при штампуванні на молотах.

Поковки ІІ групи штамнують плазом за один або декілька переходів. Дрібні поковки, котрі розміщуються по декілька штук в одному остаточному рівчаку, і поковки середніх розмірів з незначною різницею в площах поперечних перерізів штамнують, як правило, за один перехід. Поковки з видовженою віссю і невеликою довжиною, що мають на кінці розвилку, розміщують у штампі по дві штуки і штамнують за два та три переходи. Для уникнення появи затисків в остаточному рівчаку в середині розвилки виконують виїмку для розміщення надлишкового металу.

Група	А	Б
/		
//		
///		
/V		
V		

Рис. 4.76. Види поковок, які виготовляють на кривошипних гарячештампувальних пресах

Площа перерізу вихідної заготовки при штампуванні поковок видовженої форми з незначною різницею у площах поперечних перерізів $F_b = V_b/L_b$, де V_b – об'єм заготовки, що визначається аналогічно до поковок, які штампуються на молотах; L_b – довжина вихідної заготовки, яка повинна бути трохи коротшою від довжини рівчака.

Поковки зі значною різницею у площах поперечних перерізів рекомендується штампувати по дві штуки зі зустрічним розміщенням їх у рівчаку штампа – „валетом”.

Поковки III групи характеризуються значною різницею у площах поперечних перерізів уздовж головної осі поковки, внаслідок чого при штампуванні необхідно застосовувати як вихідну фасонну заготовку, яку

попередньо отримують металургійним способом або в кувальних вальцях, попередніх штампах тощо.

Поковки IV групи характеризуються криволінійним розніманням штампа або наявністю головної осі заготовки, вигнутої у плані настільки, що необхідне застосування згинального рівчака. Для усунення зсуву верхнього штампа відносно нижнього застосовують спарювання поковок, або повертають головну вісь поковки під певним кутом з метою усунення зсувних зусиль, що виникають при штампуванні. При відсутності такої можливості застосовують штамп з замком або контрзамком.

Поковки V групи виготовляють видавлюванням. У залежності від напрямку течії металу розрізняють пряме та зворотне видавлювання. При прямому видавлюванні (рис. 4.77, а) витікання металу з штампа проходить в напрямі, який співпадає з напрямом руху пуансона, а при зворотньому (рис. 4.77, б) – в протилежному напрямі. На практиці часто застосовують комбіноване видавлювання, при якому метал одночасно тече і у прямому і в зворотньому напрямках (рис. 4.77, в).

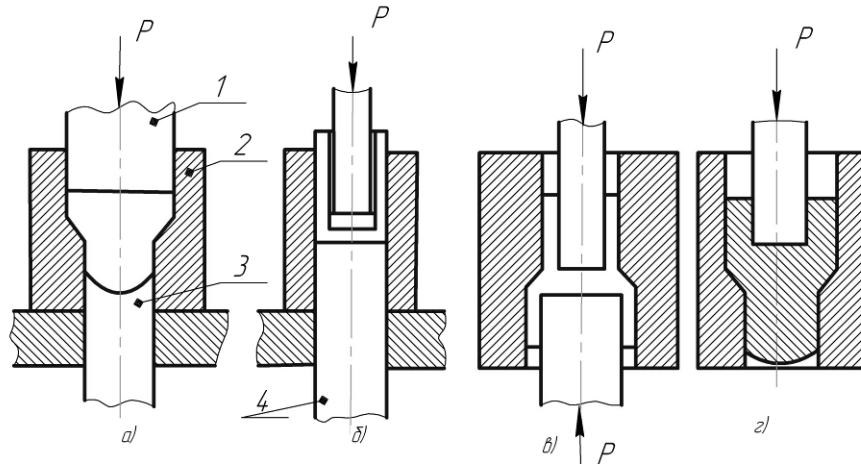


Рис. 4.77. Схеми способів видавлювання

Форма поперечного перерізу поковки, утвореної видавлюванням, залежить від форми наскрізного отвору інструмента. Якщо деформується заготовка з попередньою прошитим отвором, то поковка має вигляд порожнистого стержня. Ступінь зміни форми заготовки при видавлюванні визначається такими параметрами:

коефіцієнтом витяжки $q = F / F_0 = 1 / \lambda$;

ступенем деформації $\varepsilon = (F_0 - F) / F_0 = 1 - 1 / \lambda$,

де F_0 – площа поперечного перерізу приймача;

F – площа поперечного перерізу отвору матриці, тобто отриманого видавлюванням стержня.

При штампуванні видавлюванням литих заготовок з кольорових сплавів допускається ступінь деформації 80-85 %, для сталевих поковок

він складає 15-95 %. Форму та габаритні розміри вихідної заготовки вибирають виходячи з необхідного об'єму заготовки V_b , допустимого співвідношення висоти та діаметра, допустимого зазору між заготовкою та приймачем у першому рівчаку. Типові поковки, які виготовляють видавлюванням, показані на рис. 4.78.

Конструювання рівчаків та штамів

Відсутність ударних навантажень при роботі КГШП дозволяє застосовувати на ньому збірні штампи (рис.4.79). Штамп складається з блоків, в які вмонтовано набір необхідних рівчачових вставок 2 та 3. Блоки експлуатуються довго. Вони складають пакет штампа, до якого відноситься нижній блок, верхній блок, направляючі колонки 1 та втулки, а також деталі кріплення. Окрім рівчачових вставок 2 та 3 блоки мають важільну систему, зв'язану з виштовхувачем преса, яка виштовхує поковку з штампа.

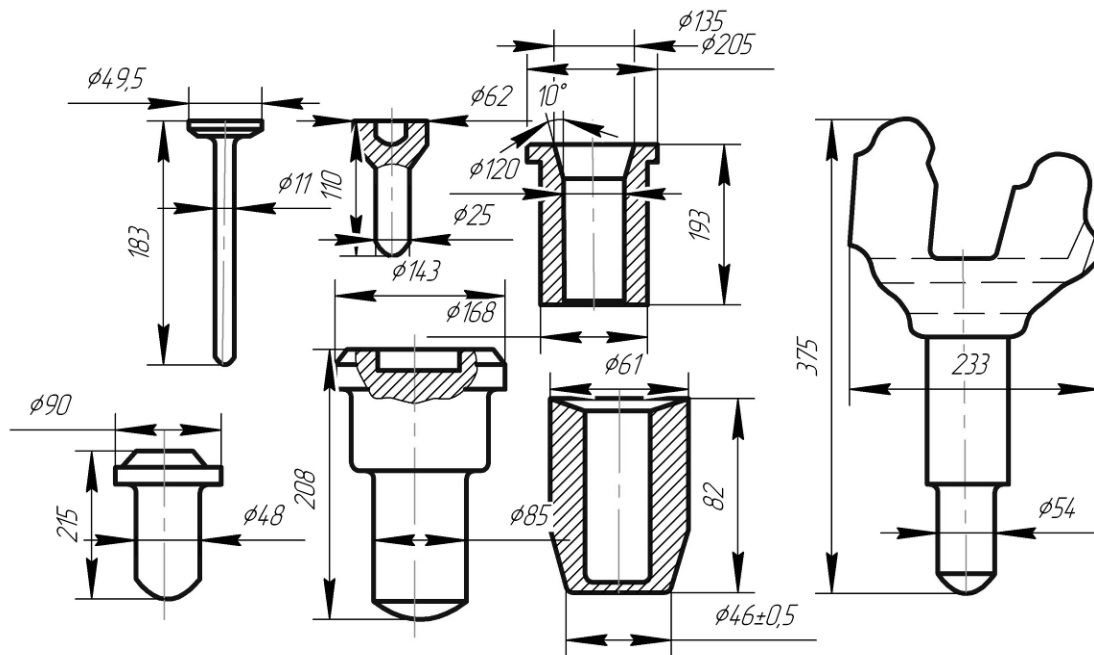


Рис. 4.78. Типові поковки, які виготовляють видавлюванням

Найширше розповсюджені пакети для призматичних та круглих рівчачових вставок.

При проектуванні збірних штамів у кожній вставці рекомендується розміщувати тільки один рівчак. Площини рознімання вставок при штампуванні не повинні сходитися на величину, що дорівнює товщині облою. На рис. 4.80-4.83 показані конструкції різних штамів для КГШП.

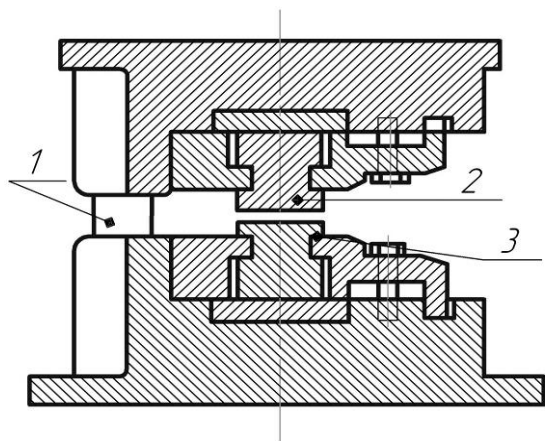


Рис. 4.79. Збірний штамп для КГШП

повинні бути строго паралельними (допускається непаралельність не більш 0,03 мм на 100 мм довжини).

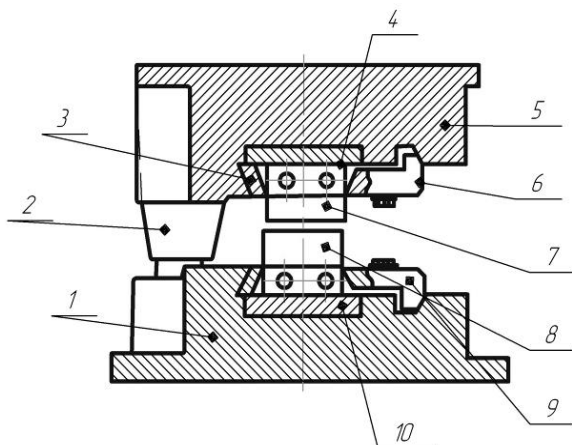


Рис. 4.80. Збірний штамп пакетного типу для кривошипних гарячештампувальних пресів

Попередній та остаточний ривчаки для круглих у плані поковок показані на рис. 4.84. Принцип побудови попереднього ривчака 1 для поковки з центральним виступом (маточиною) заключається в створенні такої форми ривчака, яка сприяла би затіканню металу в маточинну частину ривчака. Для фіксації заготовки в центрі нижнього ривчака передбачають виїмку, дещо більшу від діаметра заготовки.

Попередній та остаточний ривчаки для поковок з видовженою віссю виготовляють з урахуванням вказівок на кресленні гарячої поковки. Поверхню попереднього ривчака шліфують і полірують. Розміри попереднього ривчака виконують з точністю, що забезпечує отримання розмірів поковки. Порожнина остаточного ривчака повинна бути старанно відполірована. Опорні поверхні нижньої та верхньої вставок

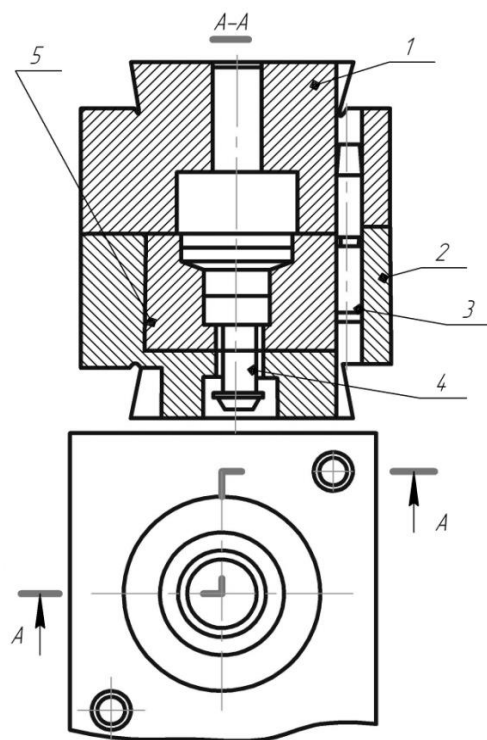


Рис. 4.81. Закритий штамп для фрикційного преса:
1 – верхній бойок; 2 – нижній бойок; 3 – направляючі колонки; 4 – виштовхувач; 5 – вставка

При побудові попереднього рівчака 1 слід виходити з відношень: $H_1 = H + (2-5)$, мм; $R_3 = (1,5-2,0) R_1$, мм; $R_2 = (2-3) R$, мм; $h_1 = h - (2-5)$, мм; $\alpha_1 = (2-3^\circ) + \alpha$, град.

При проектуванні остаточного рівчака 2 важливим є вибір форми і розмірів облойної канавки (рис. 4.85). Товщина облойного мостика 2а повинна бути рівною зазоріві між площинами верхнього та нижнього штампів з урахуванням величини пружинення преса при штампуванні. На рис. 4.85 наведені три типи канавок для облою. Розміри a , R , L , h вибирають за довідниками.

Тип I – основний. Магазин канавки відкритий з одного боку і розміщується зверху або знизу у відповідності з розміщенням обрізного пуансона.

Тип II – магазин канавки напіввідкритий. Його застосовують для зменшення механічної обробки в тих рівчакових вставках, у котрих кромка рівчака значно віддалена від краю вставки.

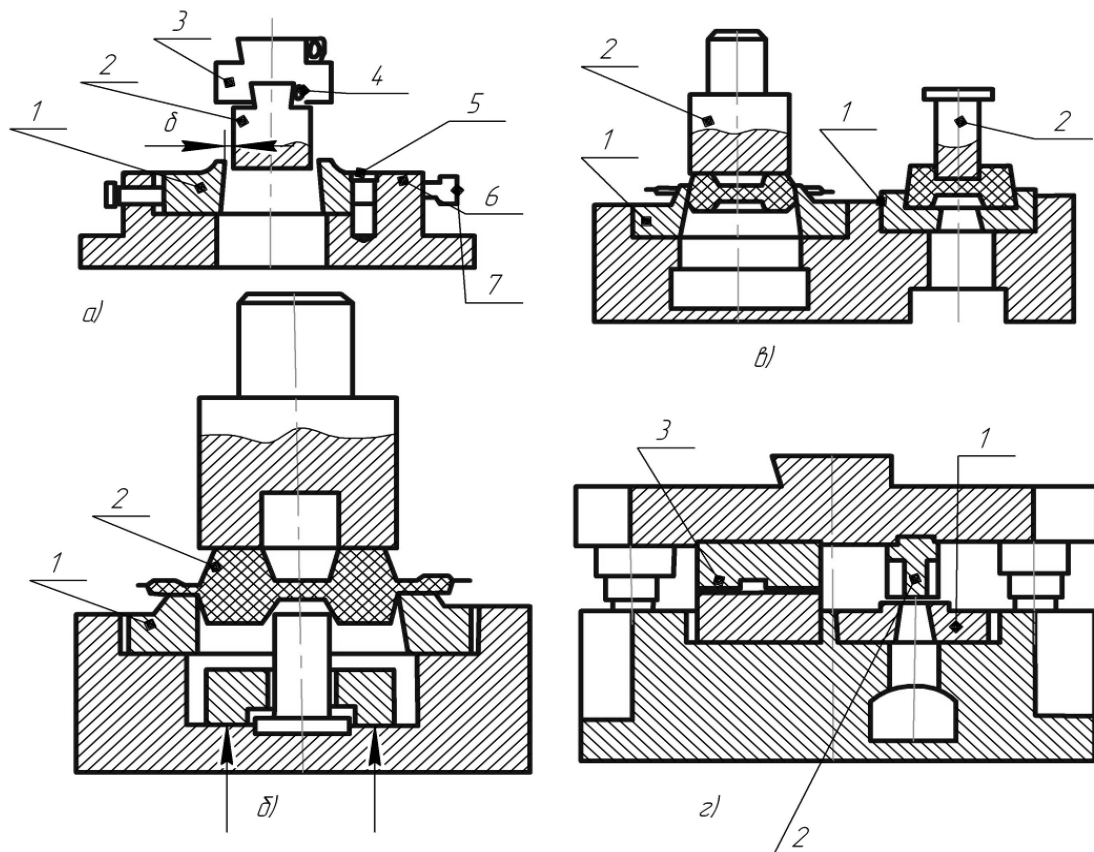


Рис. 4.82. Конструкції обрізних штампів:

- а – для холодного обрізування облою; б – комбінований; в – послідовний;
 г – обрізний з виправляючим рівчаком; 1 – матриця; 2 – пуансон;
 3 – державка; 4 – клин; 5 – гвинти для кріплення матриці; 6 – башмак;
 7 – регулювальні гвинти

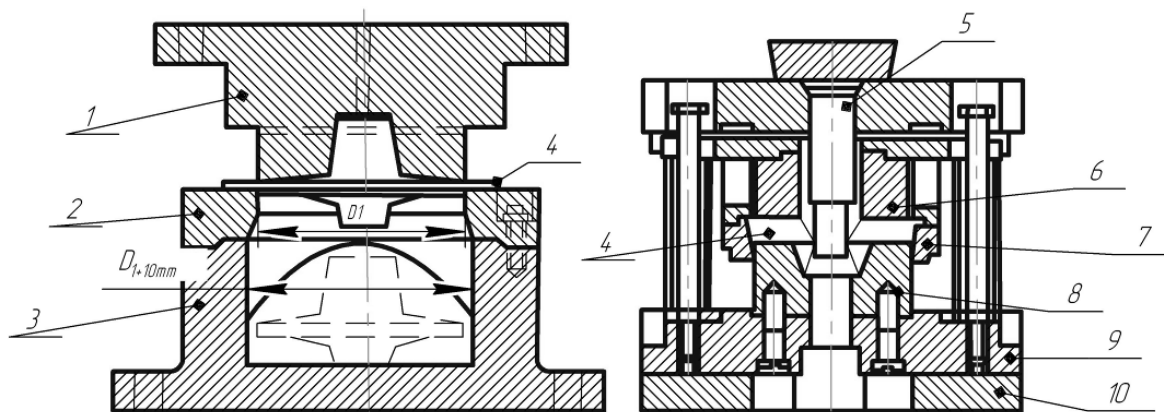


Рис. 4.83. Обрізні штампи:

а – для гарячої обрізки облою; б – для холодної обрізки облою з одночасним прошиванням перемички: 1 – обрізний пуансон; 2 – матриця; 3 – башмак; 4 – поковка; 5 – прошивний пуансон; 6 – знімач; 7 – обрізний пуансон; 8 – матриця; 9 – нижня плита; 10 – підкладна плита

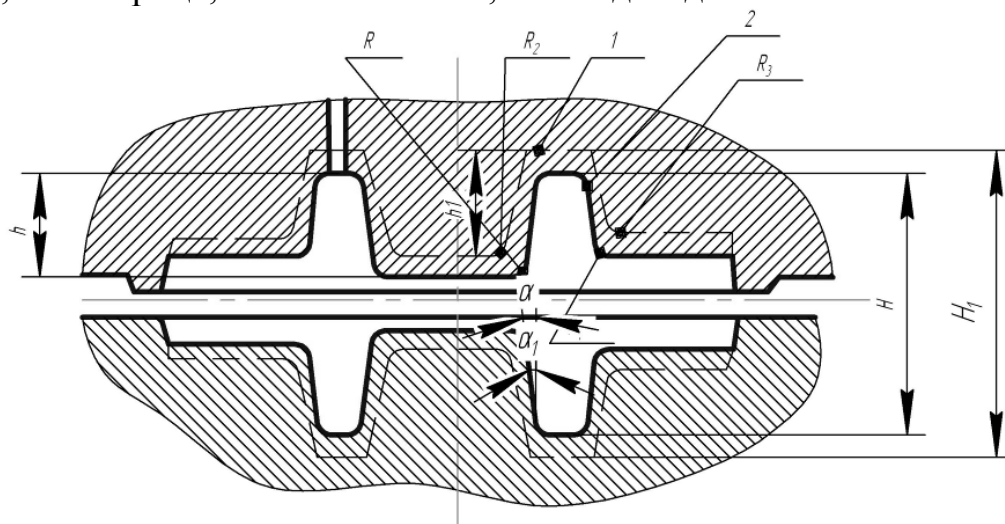


Рис. 4.84. Попередній (1) та остаточний (2) рівчаки для круглих (у плані) поковок, які мають глибоку намітку

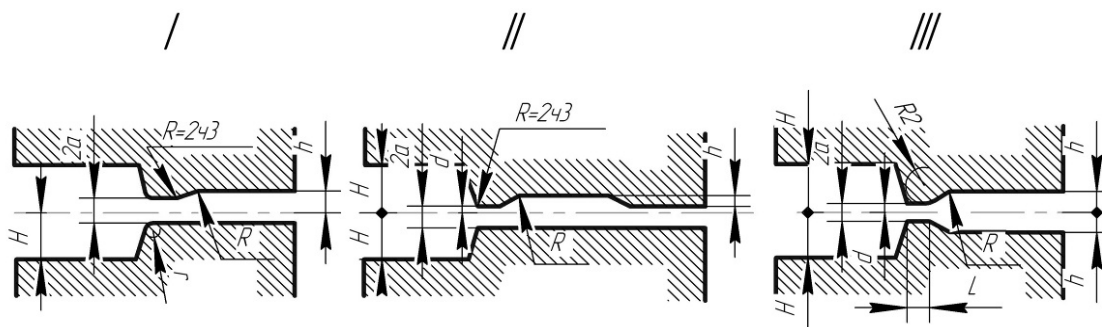


Рис. 4.85. Форми канавок для облою

Тип III – з двостороннім відкритим магазином. Застосовують тільки в тих випадках, коли на поковках є дільниці зі значним надлишком металу і він повинен бути витіснений в облой.

У попередніх та остаточних рівчаків для поковок, котрі виготовляються видавлюванням, при штампуванні за декілька переходів деформація заготовки у кожному рівчаку повинна бути розподілена так, щоб забезпечувалось отримання якісних поковок і висока стійкість робочих частин штампа. Типовий приклад штампування клапана ДВЗ за два переходи показаний на рис. 4.86.

Діаметр стержня d у першому рівчаку зроблений на 0,1 мм меншим від діаметра D в другому рівчаку. Для зменшення тертя металу об стінки матриці, що особливо важливо при виштовхуванні, необхідно, щоб висота деформуючого отвору (очка) $h = (0,8-1) d$. Діаметр порожнини матриці повинен бути більшим від діаметра очка на 0,15-0,25 мм. Перехід від очка до порожнини з більшим поперечним перерізом повинен бути плавним.

Висота приймача H повинна забезпечувати заходження пуансона в матрицю ще до моменту його торкання з заготовкою у першому та другому рівчаках. Кут нахилу α для приймача вибирають рівним $45-30^\circ$, зазор між пуансоном та матрицею у першому переході 0,2 мм, а в другому – 0,05 мм. У першому переході $R = 6$ мм, а в другому – $R = 3$ мм. Об'єм головки у першому переході повинен бути більшим від об'єму головки в другому переході на величину об'єму частини стержня, що видавлюється в другому переході.

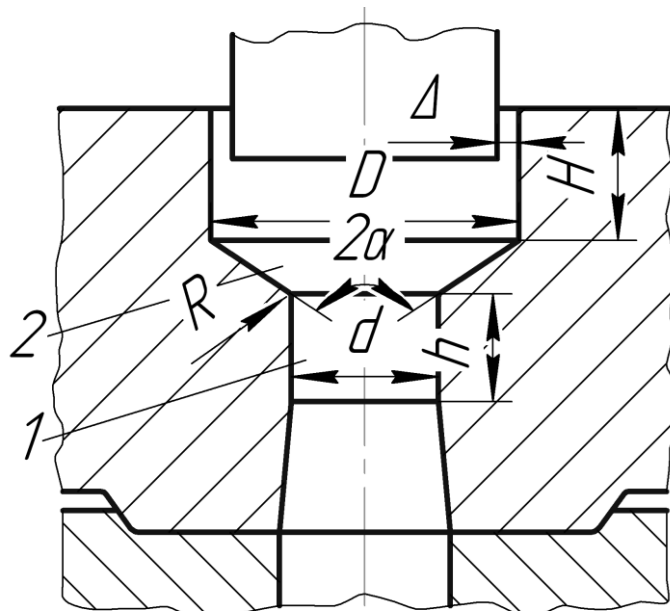


Рис. 4.86. Рівчак для штампування клапана видавлюванням:
1 – очко матриці; 2 – приймач матриці

Контрольні питання для самоперевірки

1. Суть процесу штампування на КГШП.
2. Достоїнства та недоліки штампування на КГШП.
2. Конструкція КГШП та їх основні характеристики.
3. Класифікація поковок, які виготовляють на КГШП.
4. Визначення розмірів вихідних заготовок.
5. Вибір переходів штампування.
6. Конструювання штампів та їх рівчаків для КГШП.

4.6. Штампування на горизонтально-кувальних машинах

Загальні відомості

На горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) штамнують у відкритих, закритих штампах та штампах для видавлювання. Типові поковки, які виготовляють на ГКМ показані на рис. 4.87. [43-47,60,63-66,89,101,120].

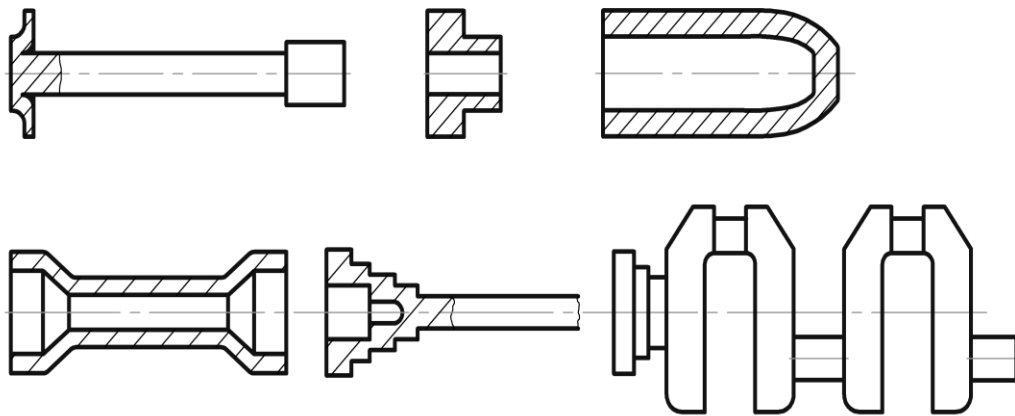


Рис. 4.87. Типи поковок, які отримують на ГКМ

Основною ознакою ГКМ є наявність двох взаємо перпендикулярних площин рознімання штампа. Головний роз'єм проходить між пуансоном, котрий закріплюється у блоці пуансонів, і блоком матриць (рис. 4.88). Другий роз'єм розміщений у блоці матриць між нерухомою та рухомою матрицями.

Основні переваги штампування на ГКМ:

наявність роз'єму в матриці дозволяє не застосовувати штампувальні уклони на стінках її порожнин;

висаджені заготовки з наскрізними отворами можна отримувати без відходів на перемичку;

штампи з просторовим розніманням дозволяють отримувати поковки таких форм, які неможливо виготовити розглянутими раніше способами штампування.

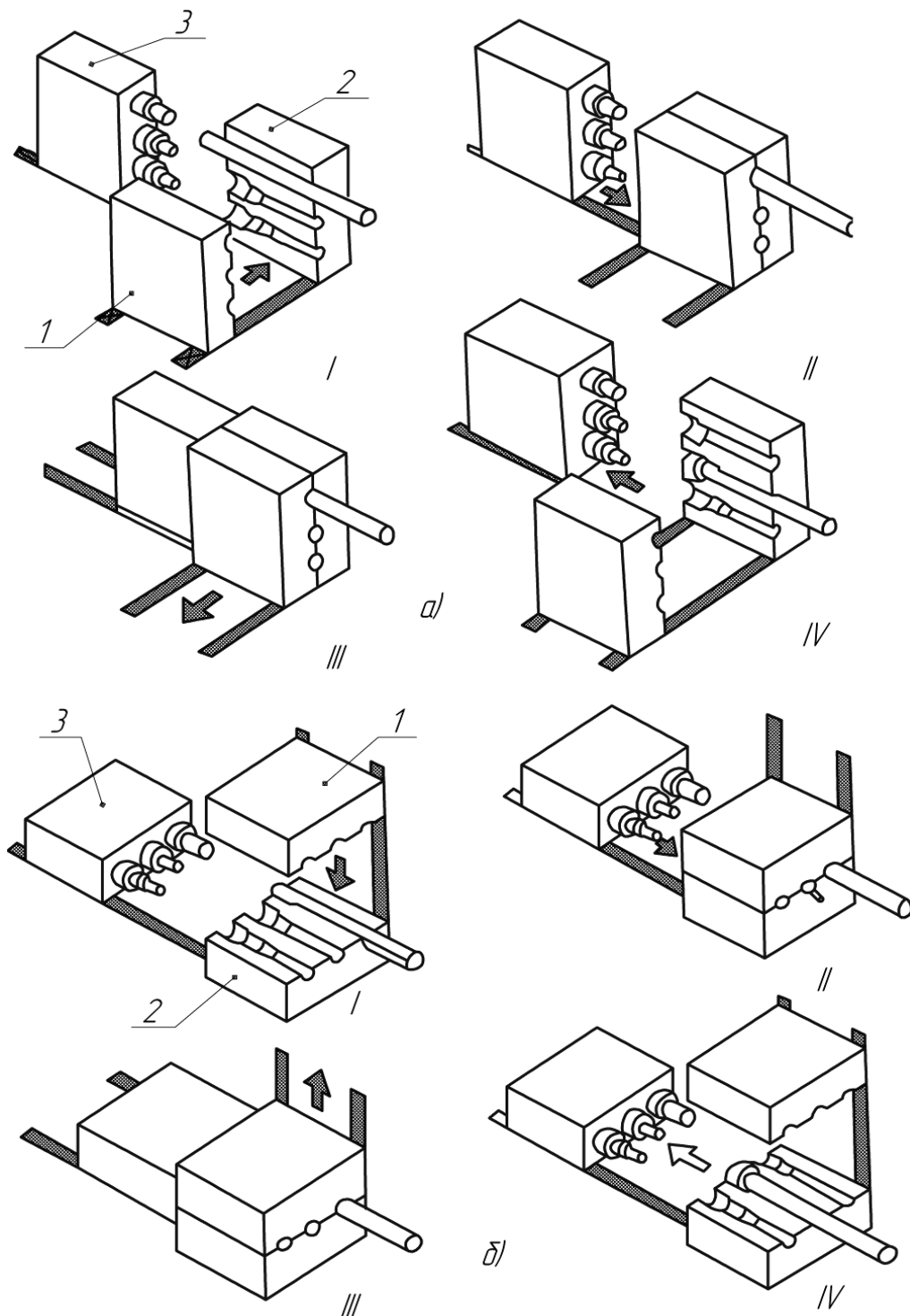


Рис. 4.88. Схеми переміщення штампів у ГКМ з вертикальною (а) та горизонтальною (б) площиною рознімання матриць:

1 і 2 – рухома та нерухома матриці; 3 – блок пуансонів; I – пруток не затиснений; II – матриці зімкнулись (пруток затиснений);
 III – виконується висадка блоком з пуансонами; IV – блок з пуансонами і рухома матриця відійшли у вихідне положення (пруток з висадженим потовщенням перекладений в середній рівчак)

Будова та принцип дії машини

ГКМ широко застосовують у СВ та МВ завдяки високій продуктивності та економічності. На рис. 4.89 показана кінематична схема ГКМ зусиллям 20 МН з вертикальним розніманням матриць: 1–рухома матриця, 2–важіль, 3–важіль, 4–боковий повзун, 5–вал приводний, 6–фрикційна муфта, 7–маховик, 8–клинопасова передача, 9–електродвигун, 10–ролик, 11–ексцентрик, 12–ролик, 13–колінчастий вал, 14–шестірня, 15–шатун, 16–головний повзун, 17–шестірня, 18–стрічкове гальмо, 19–пуансон, 20–рухомий упор, 21–заготовка.

Застосовують ГКМ з вертикальною і горизонтальною площиною рознімання матриць. Машини першого типу ширше застосовують, але

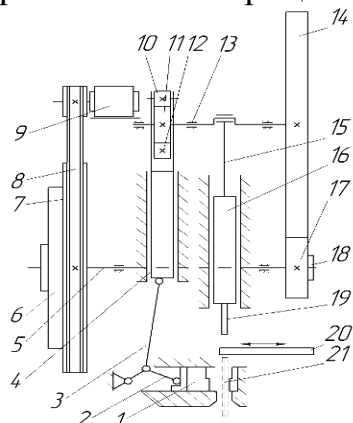


Рис. 4.89.
Кінематична схема
ГКМ

машини другого типу перспективніші, тому що їх можна легше автоматизувати. Конструкція ГКМ обумовлена в ГОСТ 7023-70 „Машини горизонтально-кувальні з вертикальним роз’ємом матриць. Основні параметри та розміри”. Номінальні зусилля ГКМ – 1-31,5 МН, хід повзуна – 200-700 мм, кількість ходів за 1хв – 95-21. Штампувальний простір ГКМ показаний на рис. 4.90, а пуансони та матриці – на рис. 4.91. ГОСТ 7023-89 регламентує параметри, розміри та норми точності горизонтально-кувальних машин з вертикальним розніманням матриць

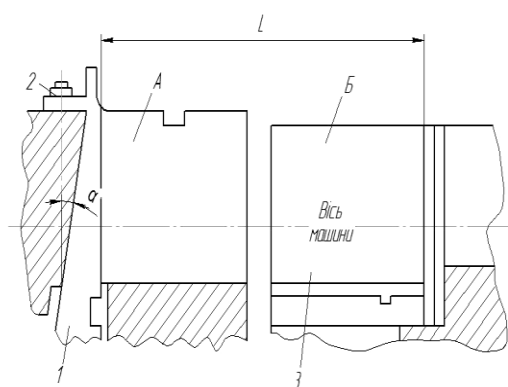


Рис. 4.90. Штампувальний
простір ГКМ:
А – місце для установа-
влення блоку пуансонів; Б – місце для
установлення блоків матриць

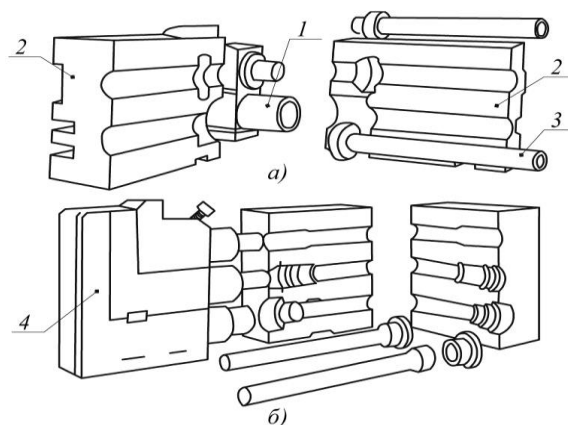


Рис. 4.91. Пуансони та матриці до
горизонтально-кувальних машин:
а – дворівчаківий комплект; б –
трирівчаківий комплект зі складе-
ними пуансонотримачами; 1 – пуан-
сони; 2 – матриці; 3 – поковки за
переходами; 4 – складений пуан-
сонотримач

Класифікація поковок

У залежності від конфігурації, поковки, що виготовляють на ГKM, розділяють на шість основних груп (рис. 4.92).

Поковки I групи – типу стержнів з потовщенням. Вони в свою чергу діляться на дві підгрупи: підгрупа 1 – з одним потовщенням, розміщеним на кінці стержня (а, б, в); підгрупа 2 – з двома потовщеннями, що розміщені на кінцях стержня (а), з двома або декількома потовщеннями, розміщеними по довжині (б).

Поковки II групи – з наскрізними отворами. Вони діляться на три підгрупи. Підгрупа 1 – типу кілець: а – гладкі, простої конфігурації; б – з складним внутрішнім контуром; в – з складним зовнішнім контуром. Підгрупа 2 – типу втулок: а – з складним внутрішнім контуром; б – з складним внутрішнім і зовнішнім контурами. Підгрупа 3 – складної форми: з поздовжніми виступами та фасонною формою торця.

Поковки III групи – з глухою порожниною: а – з неглибокою порожниною або без порожнини, але при $d_1 \neq d$ вихідного прутка; б – гладкі, майже постійного перерізу; в – з перемінним перерізом; г – з двосторонньою порожниною.

Поковки IV групи – змішаної конструкції: а – з прошитою частиною майже постійного перерізу; б – з прошитою частиною змінного перерізу або з несиметричними елементами.

Поковки V групи – з трубної заготовки: а – з потовщеною стінкою за рахунок збільшення зовнішнього діаметра; б – з потовщеною стінкою за рахунок одночасного збільшення зовнішнього і зменшення внутрішнього діаметрів.

Поковки VI групи – комбінованої конфігурації, в котрих, після штампування на молоті або пресі, на ГKM виконують висадку потовщень, прошивання деяких елементів, посадку штампувального уклону та інші операції.

Креслення поковки, що виготовляється на ГKM, складають за тими ж правилами, що і креслення поковки, виготовлюваної на молоті або пресі. Величину припусків, допусків і напусків визначають за ГОСТ 7505-89.

Види рівчаків штампів та переходів штампування

Для штампування розглянутих поковок застосовують різні рівчаки, котрі за видом виконуваних переходів підрозділяються на шість видів (рис. 4.93).

I – *набірні рівчаки*, що призначені для збільшення діаметра заготовки під наступне штампування. Метал набирають у пуансоні (а), матрицях (в), у пуансоні і матрицях одночасно (б), або в ковзних матрицях (г) для

отримання одного або декількох потовщень на деякій віддалі від кінця заготовки.

Група	Під-група	Приблизна конфігурація поковки		
I	1			
	2			
II	1			
	2			
	3			
III				
IV				
V				
VI				

Рис. 4.92. Класифікація поковок, які виготовляють на горизонтально-кувальних машинах

II – *формувальні ривчаки* (попередній та остаточний) – для отримання заготовок заданої форми. Штампування може виконуватися у пуансоні (а), в матриці (б) і одночасно в матриці і пуансоні (в). Найбільшу точність забезпечує штампування у пуансоні, але при цьому необхідне виконання штампувальних уклонів. Меншої точності поковки досягають при штампуванні в матриці, але тут можна не застосовувати штампувальні уклони.

III – *пробивні рівчак* – служать для відділення штампованої поковки 1 від прутка 4 шляхом пробивання отвору пуансоном 2 через отвір матриці 3.

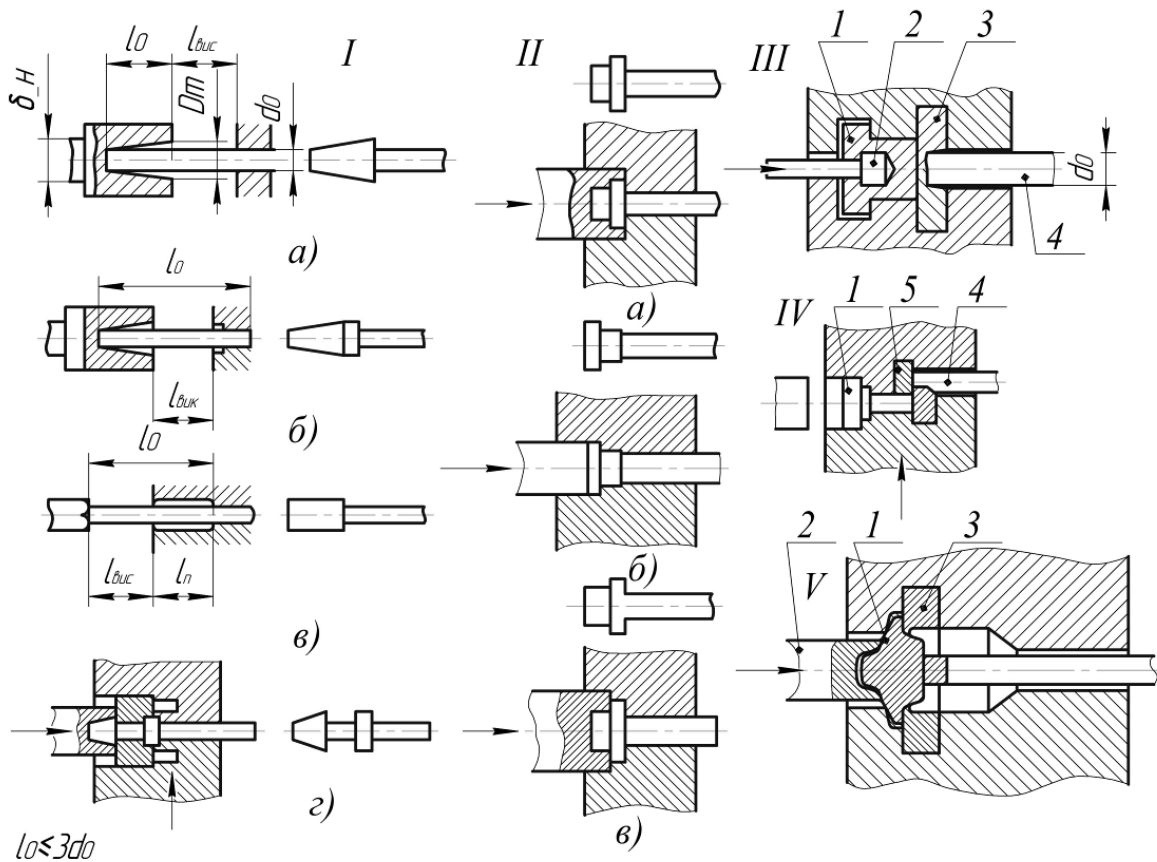


Рис. 4.93. Види рівчаків штампів ГKM:

I – набірні; II – формувальні; III – пробивний; IV – відрізний;

V – обрізний

IV – *відрізний рівчак*, що застосовується для відділення поковки 1 від прутка 4 при відносному їх зсуві ножами 5.

V – *обрізний рівчак*, який служить для відділення від поковки 1 облою, що утворився при штампуванні, шляхом проштовхування пуансоном 2 цієї поковки через обрізну матрицю 3.

VI – *спеціальні рівчак*: одні з них застосовують для розплющування або формування потовщеної частини поковки ходом рухомої матриці; інші – для згинальних операцій, для протягування кінця заготовки рухомою матрицею тощо.

Умови та основні правила висадки

При штампування на ГKM заготовка сприймає осьові стискаючі зусилля. Кількість необхідних переходів для набору металу і їх розміри у

першу чергу залежать від відношення висаджуваної довжини прутка l_0 до його діаметра d_0 (рис. 4.93, 4.94). Довжина висаджуваної частини прутка і відношення l_0 / d_0 обумовлені об'ємом металу, який необхідно набрати.

При висадці необхідно дотримуватись чотирьох основних правил висадки на ГKM.

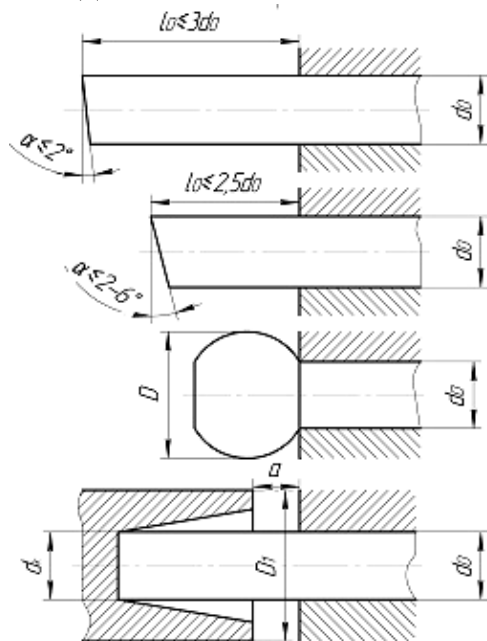


Рис. 4.94. Умови і правила висадки на ГKM

Перше правило. При висадці плоским пуансоном вихідної заготовки зі скосом на торці $\alpha \leq 2^\circ$, висаджувана вихідна частина прутка не повинна перевищувати за довжиною трьох його діаметрів ($l_0 \leq 3 d_0$). При висадці плоским пуансоном заготовок зі значним скосом на торці ($\alpha = 2-6^\circ$), висаджувана частина прутка $l_0 \leq 2,5 d_0$ (рис. 4.94).

Друге правило (рис. 4.95, б). Якщо потрібна висадка прутка з довжиною висаджуваної частини більшою від трьох діаметрів ($l > 3 d$), то діаметр висадки D у порожнині матриці не повинен перевищувати 1,5 діаметрів вихідної заготовки ($D \leq 1,5 d$). При цьому розуміється, що кінець прутка не виходить за границі рівчака матриці.

Третє правило (рис. 4.95, в). Якщо висаджувана довжина прутка перевищує три діаметри ($l > 3 d$) і висадка виконується на $D \leq 1,5 d$, то виступаюча з матриці вільна частина прутка l_1 не повинна за довжиною перевищувати одного діаметра вихідного прутка ($l_1 \leq d$).

Четверте правило (рис. 4.95, г). Практика показала, що найсприятливіші умови для набору металу забезпечує висадка у пуансоні з конічним отвором. Це правило формулюється таким чином.

Якщо довжина висаджуваної частини прутка більша трьох його діаметрів ($l > 3 d$) і висадка виконується на конус з діаметром меншої основи, рівним діаметрові вихідного прутка ($d_1 \approx d$), то допустимі такі умови висадки:

а) при діаметрі більшої основи $D \leq 1,5 d$, вільна частина прутка між матрицею та пуансоном $l_1 \leq 2 d$;

б) при $D \leq 1,25 d$ допускається, що вільна частина прутка $l_1 \leq 3 d$.

При розрахунку наступних конічних наборів рекомендується виходити з середнього розміру конуса попереднього переходу. Наприклад, при розрахунку другого переходу необхідно за $d_{\text{сеп}}$ приймати значення $d_{\text{сеп}} = (D + d_1) / 2$.

Вибір переходів штампування та визначення розмірів вихідної заготовки

Поковки I групи (рис. 4.92, 4.97) виготовляють за один або декілька переходів, як правило з прокату підвищеної точності: заготовку вибирають звичайно на одну поковку. Якщо поковка має стержень з потовщенням на обох кінцях, то кожен кінець висаджується окремо і, як правило, з двох нагрівів.

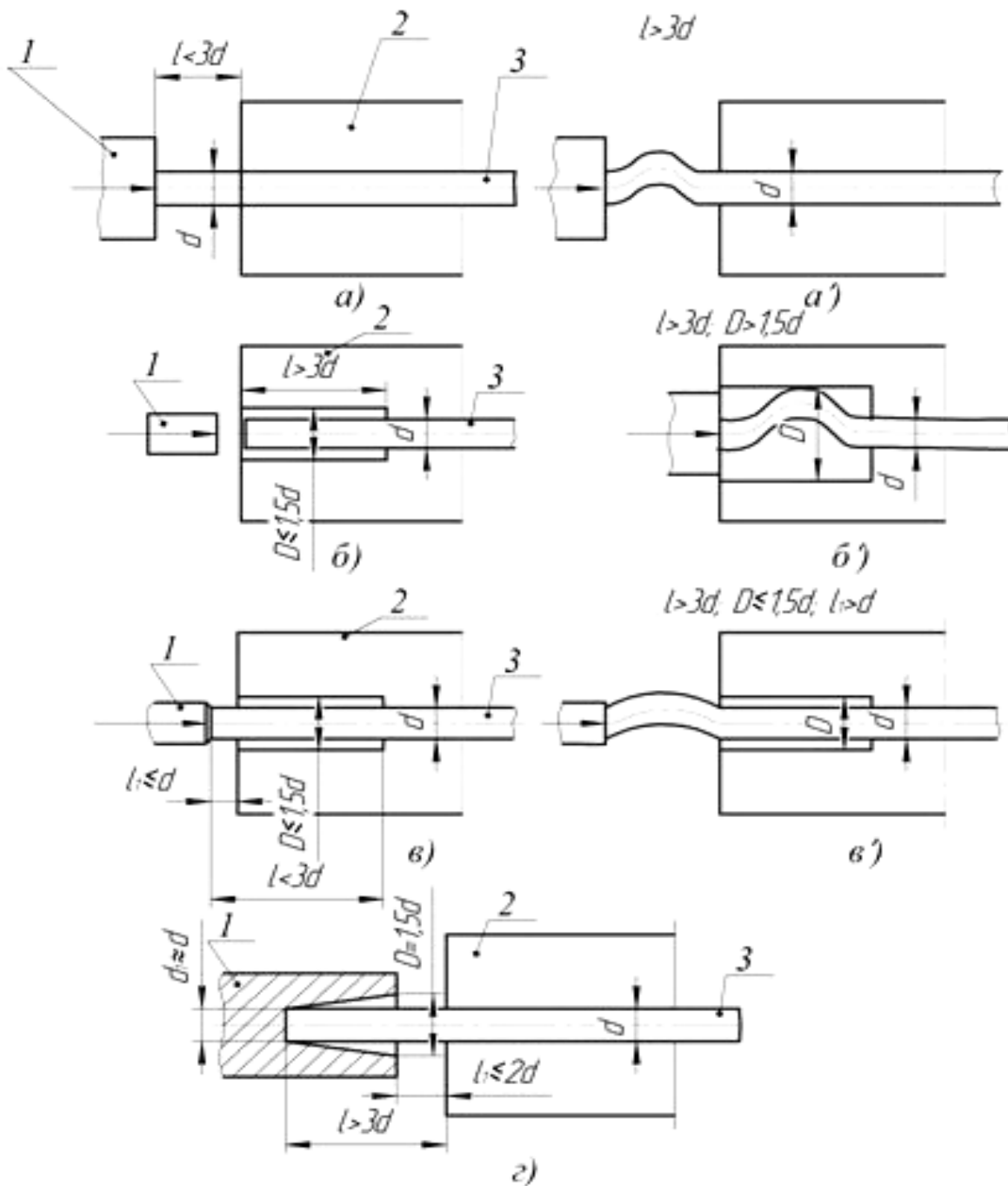


Рис. 4.95. Схеми до правил набору матеріалу при висадці

Якщо форма заготовки передбачає висадку на деякій віддалі від кінця прутка, то для недеформованої його частини у пуансоні передбачають відповідну порожнину.

Розміри вихідної заготовки визначають виходячи з об'єму поковки з урахуванням облою і вигару металу.

Поковки II групи виготовляють за два або декілька переходів. Отвори отримують прошиванням або пробиванням металу. Для нормального протікання процесу прошивання необхідно, щоб діаметр пуансона d_n був не дуже великим у порівнянні з d_0 вихідного прутка. Якщо $d_n = d_0$, то має місце процес осадки. Прошивку виконують при $d_n / d_0 \leq 0,75$. На практиці застосовують $d_n / d_0 \leq 0,5 - 0,6$. Осадка у процесі прошивання більш вірогідна на початку процесу. Чим більше d_n / d_0 та l_0 / d_0 , тим більше вірогідна осадка при прошиванні. При $l_0 / d_0 > 3$ проходить поздовжній вигин заготовки.

При осадці висота заготовки зменшується, при витисканні збільшується, а при радіальній роздачі металу довжина заготовки не змінюється. Тому при прошивці може бути використана заготовка, довжина котрої дорівнює довжині поковки, більша або менша від неї. Прошивку при радіальній роздачі металу можна виконувати тільки в заготовках, при невеликих величинах відношень l_0 / d_0 та d_n / d_0 .

При великій глибині прошивання маховик ГKM витрачає багато накопиченої енергії, при цьому різко зменшується кількість його обертів, що може вивести ГKM з ладу. Тому глибоку прошивку виконують у багаторівчаковому штампі за декілька переходів у відповідності з допустимою глибиною прошивання за кожний хід повзуна.

Одним з розповсюджених способів виготовлення простих кільцевих поковок II групи є висадка їх на ГKM з прутків з наступним прошиванням та пробиванням, тобто за три переходи (рис. 4.98). Складніші поковки виготовляють за більшу кількість переходів (рис. 4.96).

Поковки III групи з наскрізним прошиванням та без прошивання, але з буртами (рис. 4.92) виготовляють за декілька переходів. За перший перехід виконують перетиск заготовки у матрицях, формування заднього бурта і середньої частини поковки (рис. 4.92, I I I а), а також набір металу для формоутворення переднього бурта; за другий перехід – остаточне прошивання та формування поковки; за третій – відділення поковки від заготовки боковими ножами ходом рухомої матриці.

Порожнину у поковках отримують намічанням та прошиванням прошивним пуансоном. Останній виконує роздачу металу в сторони. При цьому поперечний переріз вихідної заготовки повинен відповідати площі поперечного перерізу готової поковки з урахуванням вигару металу.

Поковки IV групи – стержневі з прошитим потовщенням, що складаються з комбінації елементів поковок груп I та III, виготовляють за два або декілька переходів.

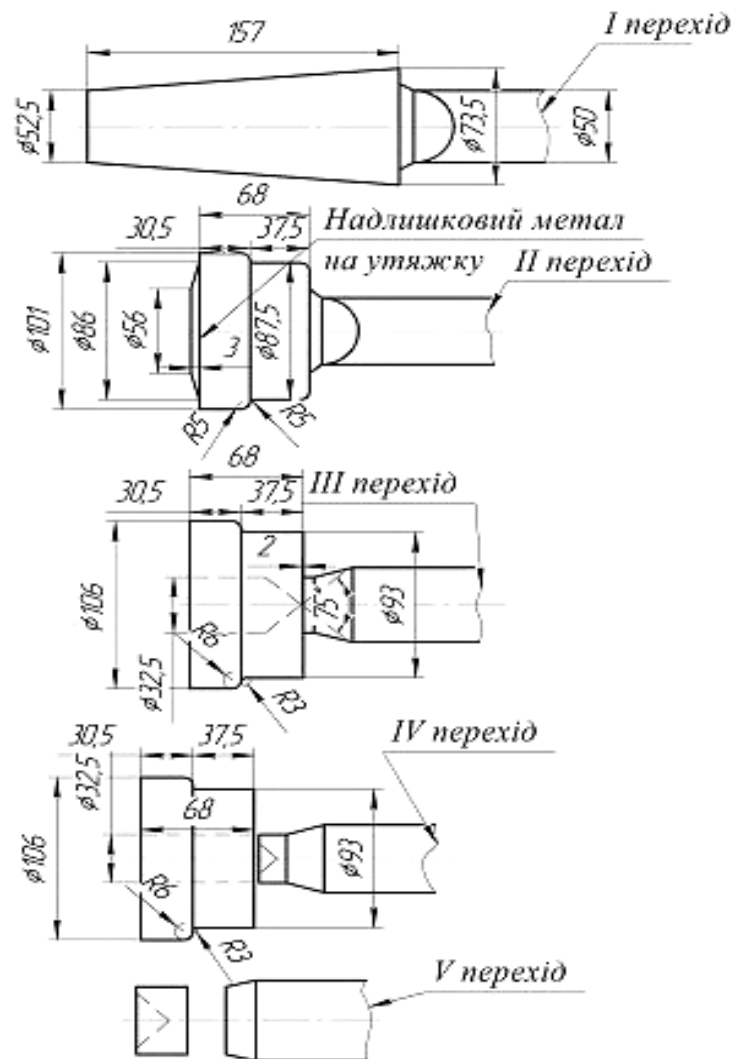


Рис. 4.96. Переходи при висадці поковки на ГKM з прошивкою

Поковки, що мають глибоку порожнину, виготовляють у штампах з розміщенням набірних рівчаків у пуансоні і формувально- прошивних рівчаків у матриці.

Для одержання поковок IV групи необхідно застосувати прошивання з роздаванням металу в сторони, при цьому повинна забезпечуватись рівність поперечних площ перерізів поковки та заготовки при однаковій їх початковій довжині. У окремих випадках на початку процесу прошивання супроводжується осадкою, а після одночасно з роздаванням металу в сторони починається течія металу в напрямі, протилежному до руху пуансона.

Поковки V групи (рис. 4.92) виготовляють з трубної мірної заготовки за один або декілька переходів. Процес висадки з трубної заготовки багато в чому аналогічний процесові висадки з прутка. Для висадки поковок з труби застосовують плоский пуансон з довгою голкою типу прошивня.

Поковки VI групи (рис. 4.92) виготовляють комбінованим способом. Спочатку штамнують заготовки на молоті або пресі з наступним наданням поковці остаточної форми на ГKM або навпаки. Розміри заготовки та переходи штампування визначають за окремими елементами згідно з техпроцесом.

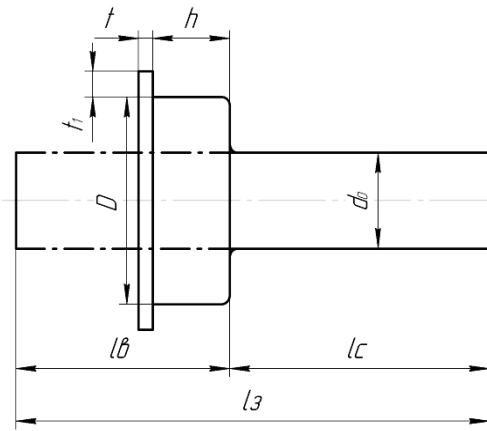


Рис. 4.97. Поковка стержня з одною головкою

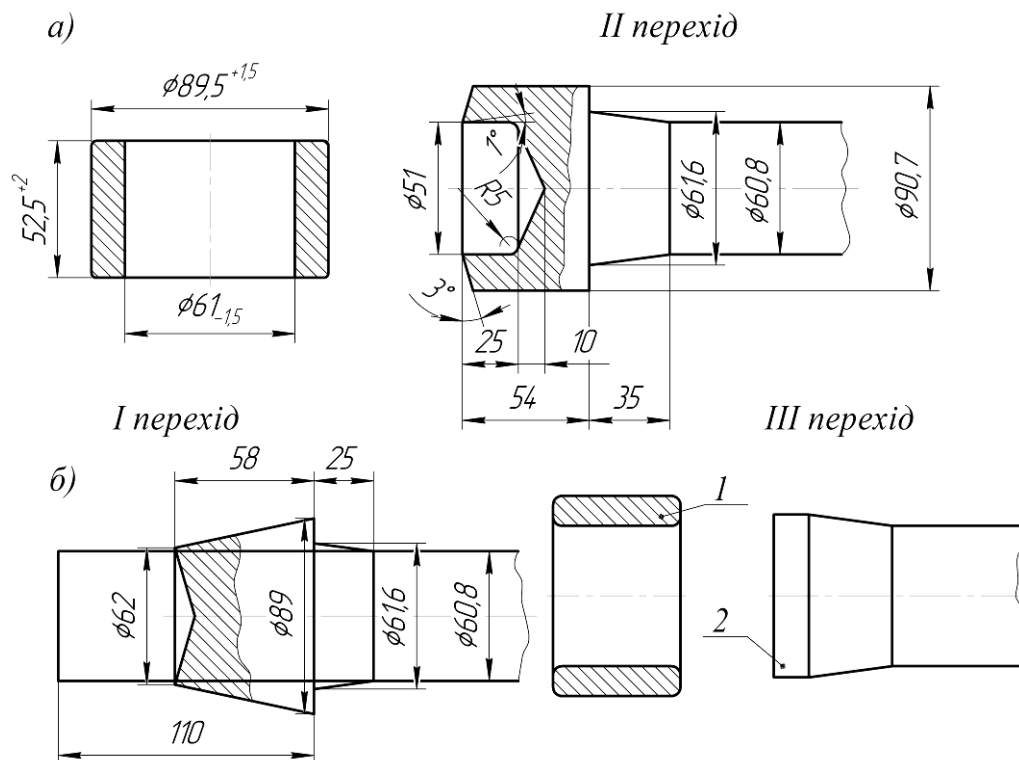


Рис. 4.98. Поковка типу кільця (а) і переходи штампування (б):
1 – штампована заготовка; 2 – висічка

Конструювання штамів та рівчаків

Штампи для ГKM складаються з блоків матриць і пуансонів (рис.4.88). Блок матриць, у свою чергу, складається з двох частин: права – нерухома, котра закріплена з правого боку передньої частини станини; ліва

– рухома, що прикріплена до поперечно-затискного повзуна. Кожна частина блоку матриць може бути суцільною або збірною.

Найширше застосовують вставки матриць, що мають форму напівциліндра з виїмкою для відповідної частини робочої порожнини рівчака. Блоки з рівчаками (без вставок) використовують відносно рідко, при невеликих серіях випуску поковок. При зіткненні двох вставок у кінці бокового ходу повзуна машини утворюється уся порожнина.

У матриці розміщують набірні та формувальні рівчаки. Рівчак складається з затискної та робочої частини. Затискна частина рівчака служить для затискання заготовки у момент її деформації і має овальний переріз. Порожнину затискної частини рівчака виготовляють гладкою або рифленою. Рифлена порожнина дозволяє скоротити довжину затискної частини рівчака. Довжина затискної частини рівчака залежить від зусилля ГKM.

Пуансони за призначенням діляться на набірні, формувальні, прошивні, пробивні та обрізні. Конструкція пуансонів обумовлена конфігурацією та розмірами переходів штампування. Пуансони бувають суцільними та збірними, що дозволяє скоротити витрати штампової сталі.

Тому, що нерухома матриця знаходиться праворуч від робітника, то нагрівальні печі для зручності роботи теж повинні розміщуватися праворуч. Для транспортування заготовок застосовують транспортери, підйомники, кліщі тощо.

Визначення сил висадки та вибір машини

Зусилля висадки P на ГKM визначають за формулою

$$P = k F \sigma_s,$$

де F - площа проекції поковки на площину, перпендикулярну до напрямку руху пуансона; σ_s - границя міцності металу при температурі висадки; k – коефіцієнт, що залежить від характеру виконуваної операції, а також від товщини S найтоншого елемента поковки або від відношення цієї товщини до діаметра d_0 висаджуваної заготовки, тобто від S / d_0 . Величину k приймають від 1,5 до 8 (при $S / d_0 > 1,5$ $k = 1,5$; при наскрізному прошиванні, яке супроводжується зрізанням, $k = 1,7$; при висадці в конусній порожнині, розміщеній у пуансоні, $k = 4$; при $S / d_0 < 0,3$ $k = 8$).

ГKM, підібрану для висадки даного виробу за величиною зусилля, перевіряють за розмірами матриць, котрі повинні забезпечувати розміщення необхідної кількості рівчаків. У противному випадку вибирають ГKM з більшим зусиллям.

Припуски, допуски та напуски для ГKM призначають за ГОСТ 7505-89. Правила виконання креслень поковок – ГОСТ 3.1126-88.

ГКМ з вертикальним розніманням матриць. Параметри і розміри – ГОСТ 7023-89.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Суть процесу штампування на ГКМ.
2. Призначення штампування на ГКМ, достоїнства та недоліки.
3. Будова та принцип дії ГКМ.
4. Класифікація поковок, які виготовляють на ГКМ.
5. Види рівчаків штампів та переходи штампування на ГКМ.
6. Умови та основні правила висадки на ГКМ.
7. Вибір переходів штампування.
8. Визначення розмірів вихідної заготовки.
9. Конструювання штампів та їх рівчаків для ГКМ.
10. Визначення зусилля висадки та вибір ГКМ.

4.7. Інші види об'ємного штампування

Штампування на фрикційно-гвинтових пресах

Фрикційно-гвинтові преси (ФП), які іноді називають молотами, застосовують для гарячого та холодного об'ємного штампування, згинання, виправлення, карбування та інших операцій.

Фрикційний прес (рис. 4.99) має: 1- станина, 2- повзун, 3- верхня поперечина, 4- диск, 5- приводний вал, 6- маховик, 7- гвинтовий шпindel, 8- збірна гайка, 9- диск, 10- натискний пневматичний механізм.

ГОСТ 713-81 Е регламентує параметри та розміри гвинтових пресів зусиллям від 0,4 до 100 МН. [117,118,120].

Ці машини мають гвинтовий шпindel з несамогальмівною багатозахідною різьбою трапецевидного або прямокутного профілю і використовують для деформування поковок кінетичну енергію обертового або прямолінійного руху мас. Принцип дії гвинтових машин заключається в розгоні рухомих частин (гвинт з маховиком або без маховика, повзун та верхній штамп) приводом фрикційної, електричної, пневматичної або гідравлічної дії під час ходу вниз до певної швидкості, щоб отримати необхідну кінетичну енергію. Максимальна швидкість повзуна сучасних гвинтових пресів з електроприводом складає 0,5-0,9 м/с, з гідроприводом – 0,9-2 м/с.

Відсутність небезпеки заклинювання і наявність виштовхувачів дозволяє виконувати штампування видавлюванням, у закритих штампах, а також у рознімних матрицях. Проте ці преси мають обмежену кількість ходів і малопродуктивні. Направляючі повзуна не видержують позacentрових навантажень, що виключає багаторівчачове штампування.

Припуски на механічну обробку та допуски на розміри поковок визначають за загальними правилами і за ГОСТ 7505-89. Товщина облою вибирається дещо більшою, ніж при штампуванні на молоті. Розвивана

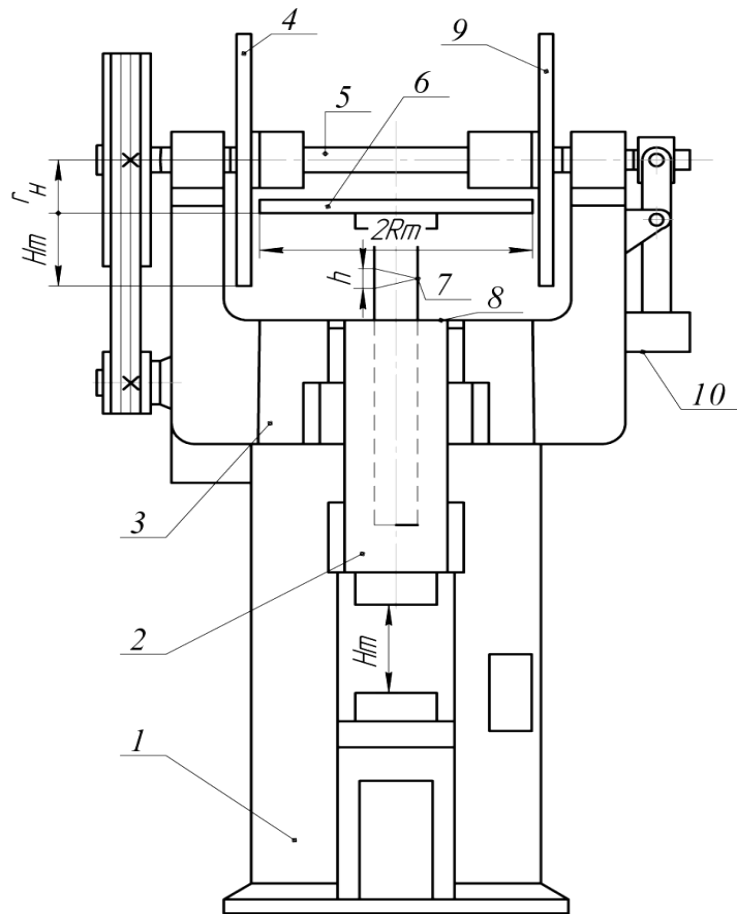


Рис. 4.99. Гвинтовий дводисковий прес

енергія деформування залежить від закритої висоти преса, тому в характеристиці машини за ГОСТ 713-81 Е вказується ефективна номінальна енергія та хід повзуна, при якому вона досягається.

За характером роботи фрикційні преси займають проміжне положення між молотами і КГШП. На ФП можна виконувати штампування за декілька ударів, як на молотах.

Фрикційні преси відрізняються універсальністю, але порівняно невисокою продуктивністю, що пояснюється не тільки тихохідністю пресів у порівнянні з молотами, але й обмеженими можливостями застосування багаторівчакового штампування. Типові поковки: болти, гвинти, трійники з фланцями, корпуси вентилів та інші деталі арматури трубопроводів, поковки для стаканів, ковпачків, поковки з довгим стержнем (завдяки великому ходові повзуна). Параметри, розміри та норми точності гвинтових пресів регламентує ГОСТ 713-88.

Штампування на гідравлічних пресах

Принцип роботи гідравлічних пресів (ГП) будується на законі Паскаля, що тиск, який передається на рідину зовнішніми силами, діє в усіх напрямках однаково. З рис. 4.100 $P_2 = P_1 \cdot f_2 / f_1$, де P_1 і P_2 , відповідно, зусилля на плунжері 3 і на поршні 1; f_1 і f_2 - площа плунжера і поршня.

Будова гідравлічного преса показана на рис 4.101:

1- ущільнення, 2- робочий циліндр, 3- робочий плунжер, 4- верхня нерухома поперечина, 5-колона, 6- рухома поперечина, 7- трубопровід, 8- система управління, 9- привод, 10- поперечина, 11- зворотні циліндри, 12- плунжери підймання.

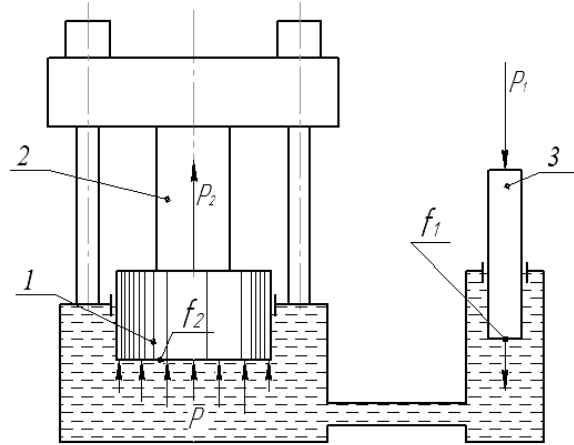


Рис. 4.100. Схема гідравлічного преса

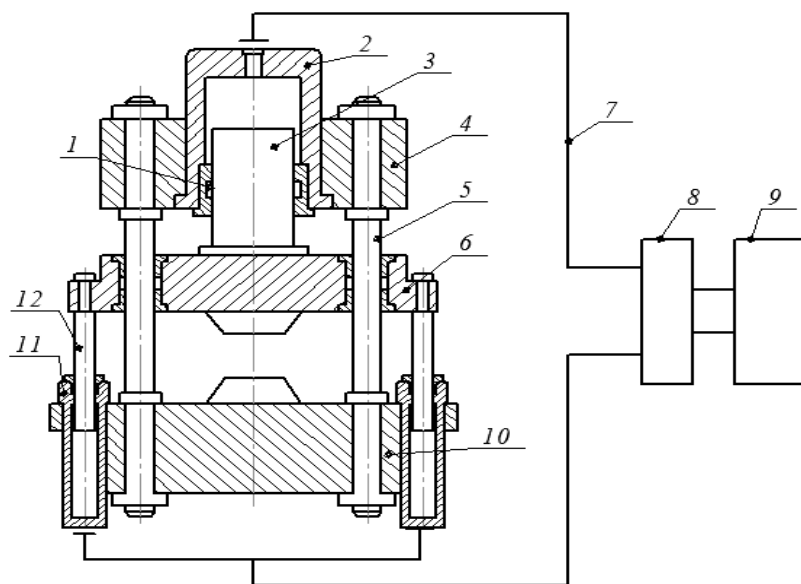


Рис. 4.101. Схема гідравлічної пресової установки

Гідравлічні преси розділяються на преси для металів та для неметалевих виробів (пластмас). З ГП, призначених для гарячої обробки металів, можна виділити кувальні, для вільного кування з зусиллям 5-150 МН, і штампувальні, для гарячого об'ємного штампування з зусиллям 10-750 МН. Поковки, котрі штампуються на ГП, не відрізняються великою точністю, тому припуски, що визначаються за ГОСТ 7505-89, необхідно

збільшити на 50-75 %. У порожнистих поковках, що прошиваються, складно видержати рівномірну товщину стінок, тому доводиться призначувати завищений припуск на діаметр. [117,118,120].

Найкращі умови деформування кольорових сплавів досягаються при однаковій температурі штампа та заготовки, тому для штампів гідравлічних пресів рекомендується індукційне нагрівання.

На тонких площинах великогабаритних поковок різнотовщинність співрозмірна з товщиною поковки.

Гідравлічні преси є найбільш тихохідними машинами зі швидкістю рухомої траверси $\sim 0,1-0,2$ м/с. Тому штампування на ГП виконують у тому випадку, коли поковка не може бути отримана на молотах, КГШП або інших машинах.

ГП застосовують при штампуванні дуже великих поковок; при штампуванні малопластичних сплавів, що потребують малої швидкості деформації; у випадках, коли необхідний великий робочий хід повзуна, наприклад, при глибокому прошиванні і протягуванні порожнистих поковок.

На гідравлічних пресах застосовують відкрите та закрите штампування, штампування видавлюванням та прошиванням, штампування в рознімних матрицях, протягування заготовок типу гільз, стаканів тощо. При штампуванні легких сплавів інструмент, звичайно, підігрівають, при штампуванні сталей – охолоджують.

Великі панелі, колінчасті вали і подібні поковки штампують по секційно з переміщенням стола з заготовкою під пуансоном. Види поковок на ГП показані на рис. 4.102, 4.103. Масивні поковки типу вагонних коліс, ребристих панелей і т.п. штампуються на ГП зусиллям 50-750 МН.

Штампування на горизонтально-згинальних машинах

На горизонтально-згинальних машинах (ГЗМ), бульдозерах, виконують операції гарячого та холодного згинання в одно- та багаторівчачових штампах з мірних заготовок великих розмірів з сортового та штабового прокату. Крім того ГЗМ використовують для вирубки, пробивання, відрізування, правильних та інших робіт. ГЗМ представляє собою горизонтальну кривошипну машину (рис.4.104, а). Повзун отримує поступово-зворотний рух від двох шатунів, зв'язаних з кривошипами - цапфами. Ексцентриситет кривошипних цапф, насаджених на великі зубчасті колеса, набагато більший, ніж у колінвалів звичайних кривошипних пресів. Це забезпечує великий хід повзуна, необхідний для згинальних робіт. Штампи згинальних машин (рис. 4.104, б) складаються з двох частин: рухомої (пуансона), котру кріплять до повзуна, і нерухомої (матриці), що кріпиться до станини. [118,120].

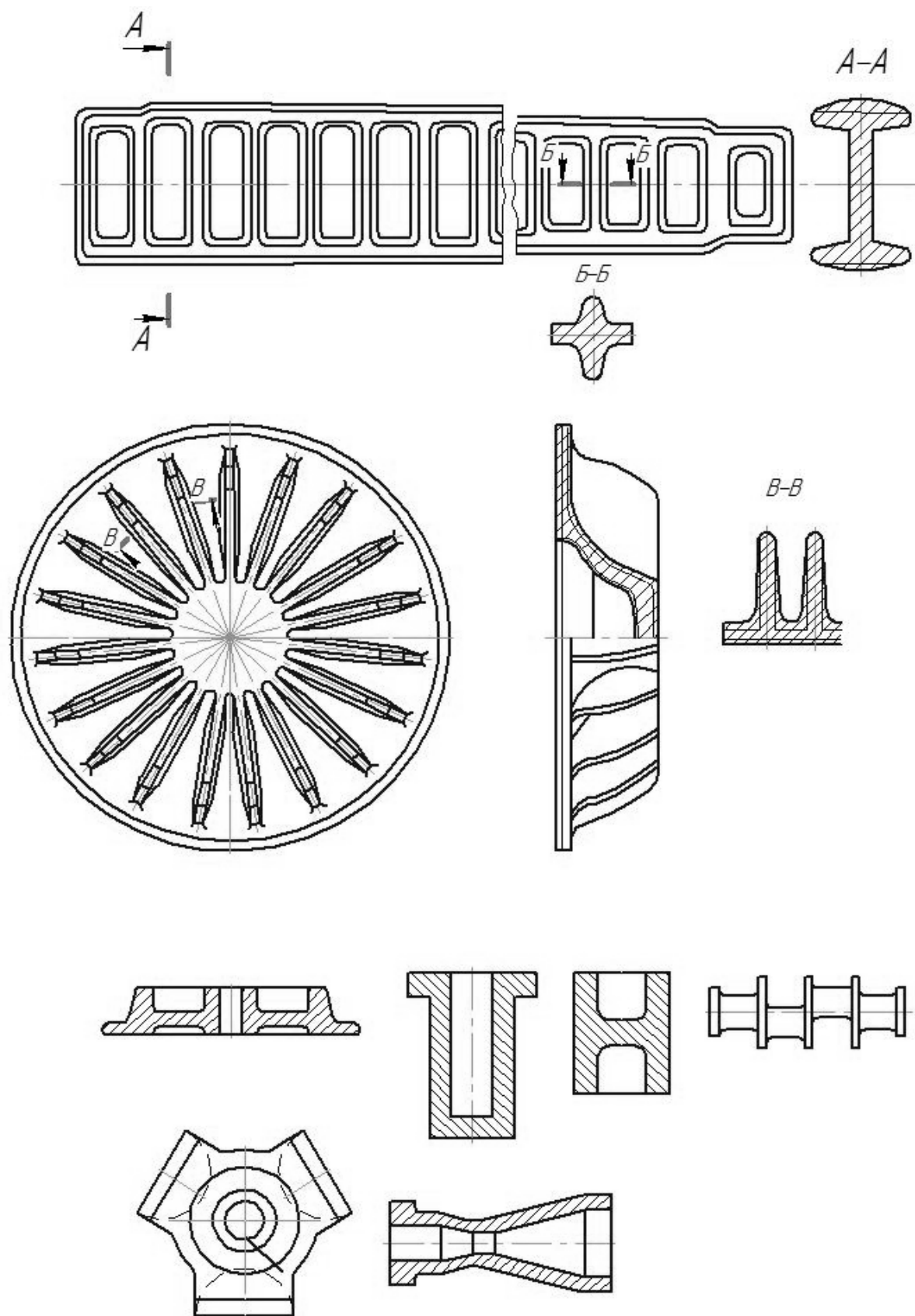


Рис. 4.102. Штамповані заготовки, які отримують на гідропресах

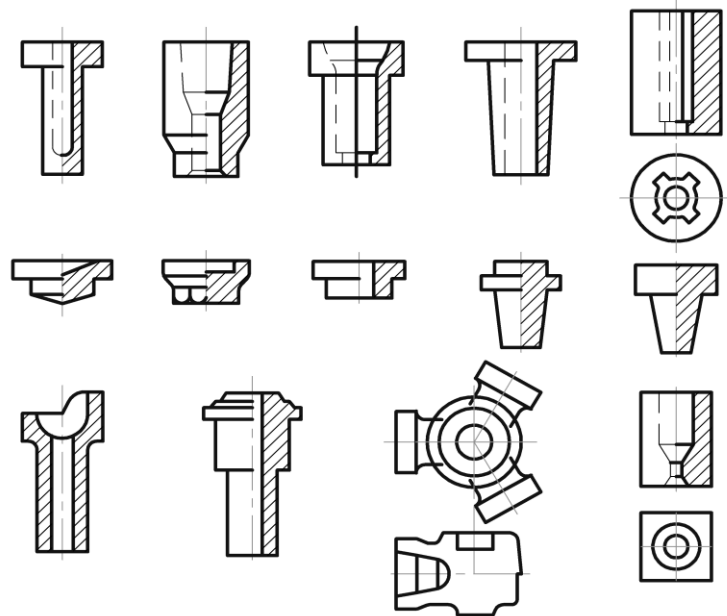


Рис. 4.103. Типові поковки, які штампують на гідравлічних пресах

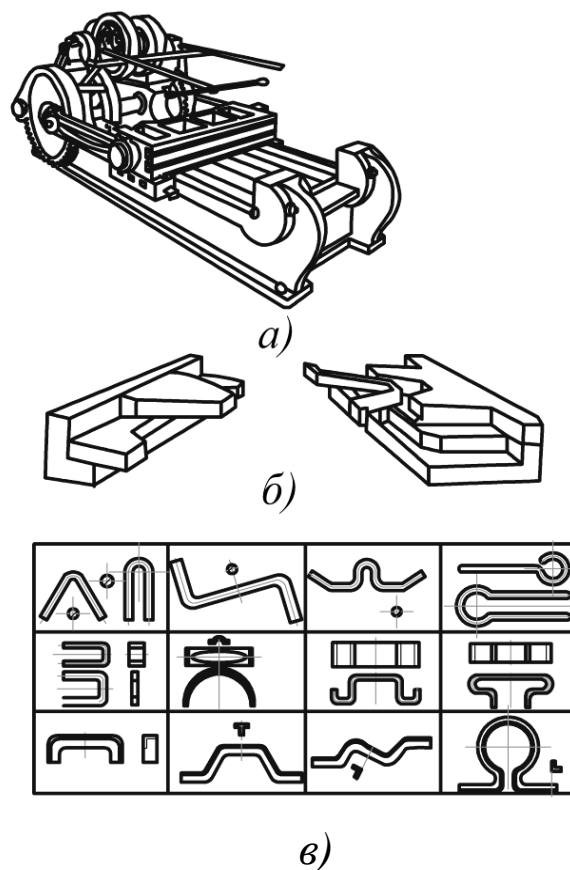


Рис. 4.104. Згинально-штампувальний горизонтальний прес:
а – загальний вигляд; б – типова конструкція згинального штампа;
в – типові поковки

Штампування на ротаційно-кувальних машинах

На ротаційно-кувальних машинах (РКМ) виконують операції обтискування (редукування) осесиметричних виробів круглого перерізу з витягнутою віссю для отримання суцільних та порожнистих заготовок стержньового типу з циліндричними, конічними та ступінчастими переходами. Обтискування виконують у нагрітому або холодному стані заготовки з великим діапазоном розмірів (від швейних голок діаметром 0,3 мм до сталевих труб діаметром ≤ 320 мм). [63-66,93,118,120].

РКМ (рис. 4.105 а) складається з станини, в якій нерухомо закріплений барабан 2. У барабані установлена обойма 1 з роликами 3. У радіальних пазах шпинделя 4, котрий обертається у підшипниках, розміщені бойки 6 з матрицями. При обертанні шпинделя бойки з матрицями здійснюють поступально-зворотний рух: бойки 6 з матрицями при ударянні об ролики 3 обойми сходяться до центра і наносять удар по заготовці. При змиканні матриці обтискають заготовку 5. РКМ забезпечують високу продуктивність – до 600 поковок за годину. Назад бойки відкидаються відцентровою силою. Іноді на РКМ застосовують манипулятори (рис. 4.106). ГОСТ 24367-87 регламентує параметри та розміри радіально-обтискних машин.

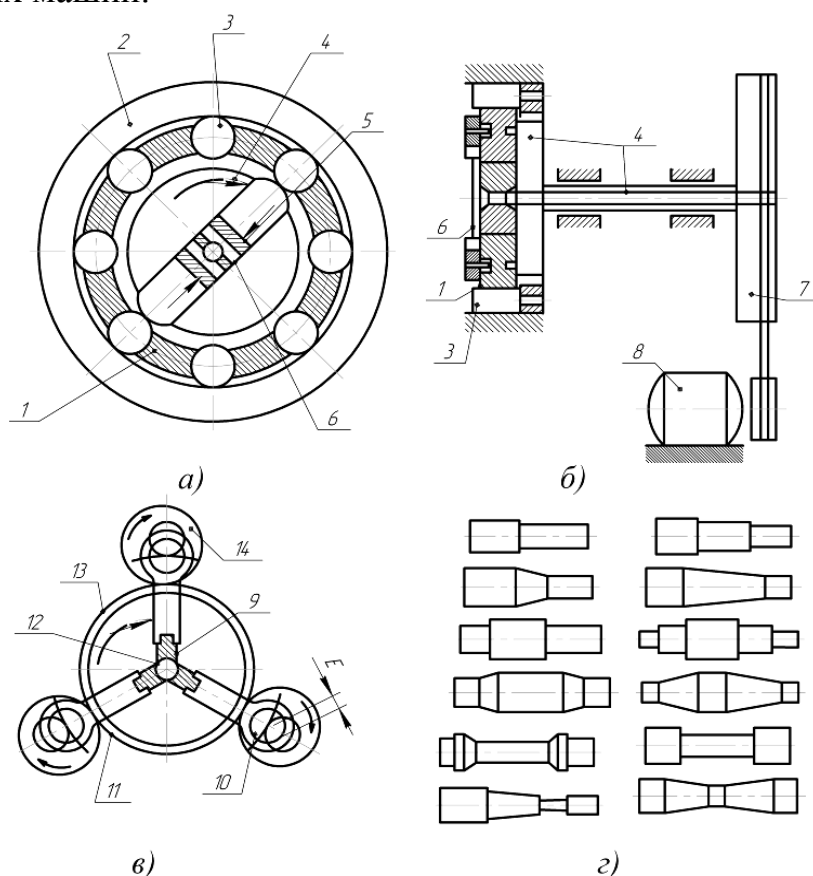


Рис. 4.105. Схеми механізмів ротаційних (а) і (б) та радіальних обтискних кувальних машин (в) і ескізи типових поковок

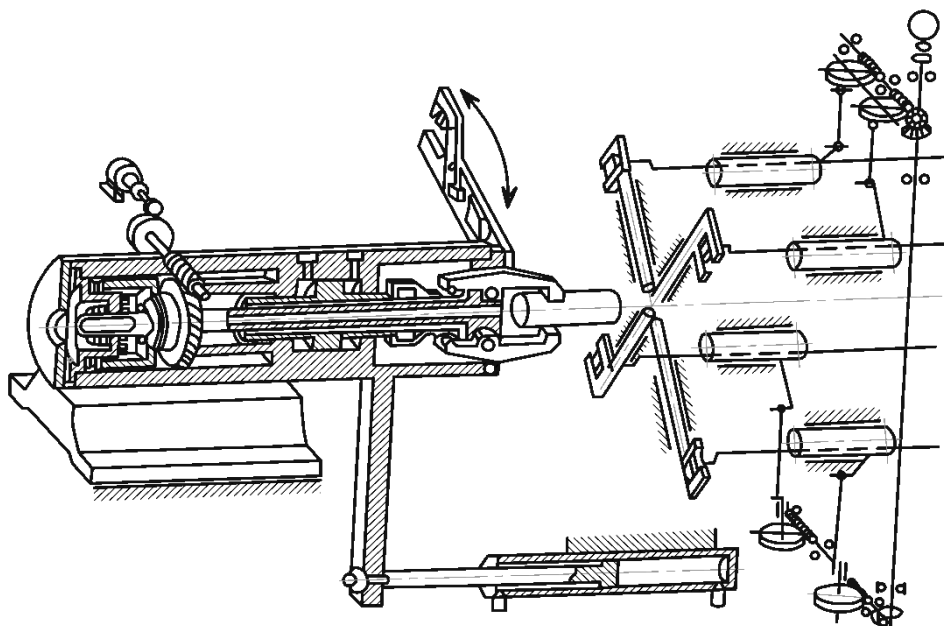


Рис. 4.106. Схема горизонтальної радіально-обтискної машини з маніпулятором

Штампування на висаджувальних автоматах

На висаджувальних автоматах (ВА) можна з дроту або прутків з діаметрами 0,6-38 мм виготовляти болти, гвинти, заклепки, цвяхи, гайки, заготовки кілець підшипників тощо. [118,120].

Ці машини за способом обробки розділяються на автомати для холодного об'ємного штампування (холодновисадні) та автомати для гарячого об'ємного штампування.

Холодновисадні автомати бувають одноударні, двоударні та трьохударні. Вони складаються з механізмів подачі матеріалу, відрізки та переносу заготовки, механізму привода висадного повзуна і відрізного повзуна, виштовхувача. Внаслідок високої продуктивності один ВА може замінити десятки токарних автоматів та інших верстатів.

Холодне об'ємне штампування

До холодного об'ємного штампування відносяться холодне видавлювання, калібрування та холодна висадка. При цьому пред'являють високі вимоги до пластичності матеріалів, котрі не повинні допускати утворення тріщин при штампуванні. [10,96,118,120].

Широке розповсюдження знаходить видавлювання без нагрівання заготовки виробів типу циліндра, стакану, балона та інших заготовок. У залежності від форми виробів застосовують чотири способи видавлювання: пряме, зворотне, комбіноване та радіальне. При будь-якому способі вихідна заготовка повинна мати точний об'єм.

Калібрування проводять для підвищення точності і чистоти поверхні деталей, котрі раніше отримали штампуванням або литтям. При калібруванні може бути досягнута точність до 0,05-0,2 мм.

Опукло-угнутий рельєф на поверхнях деталей отримують рельєфним калібруванням за рахунок деякого перерозподілу металу і заповнення порожнини штампа.

Для видавлювання без нагрівання заготовок використовують спеціальні кривошипні преси підвищеної жорсткості, а також гідравлічні преси. Калібрування заготовок звичайно проводять на фрикційних та карбувальних пресах.

Типові заготовки, отримувані холодним об'ємним штампуванням показані на рис. 4.107, 4.108.

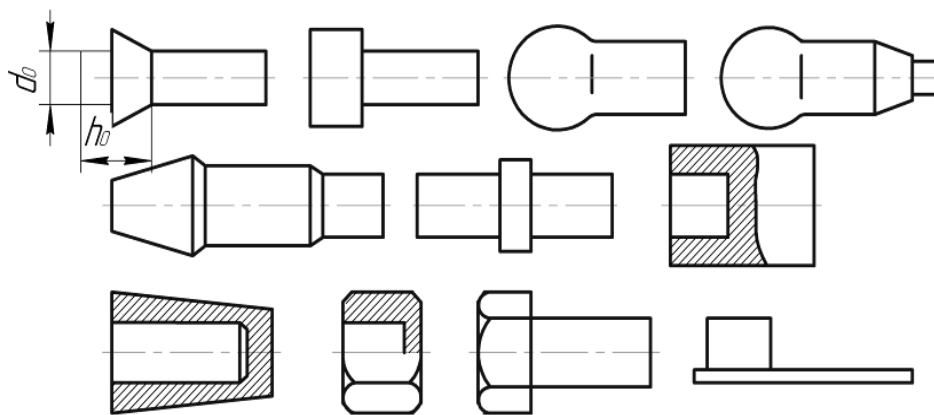


Рис. 4.107. Основні типи деталей, які отримують холодним об'ємним штампуванням висадкою

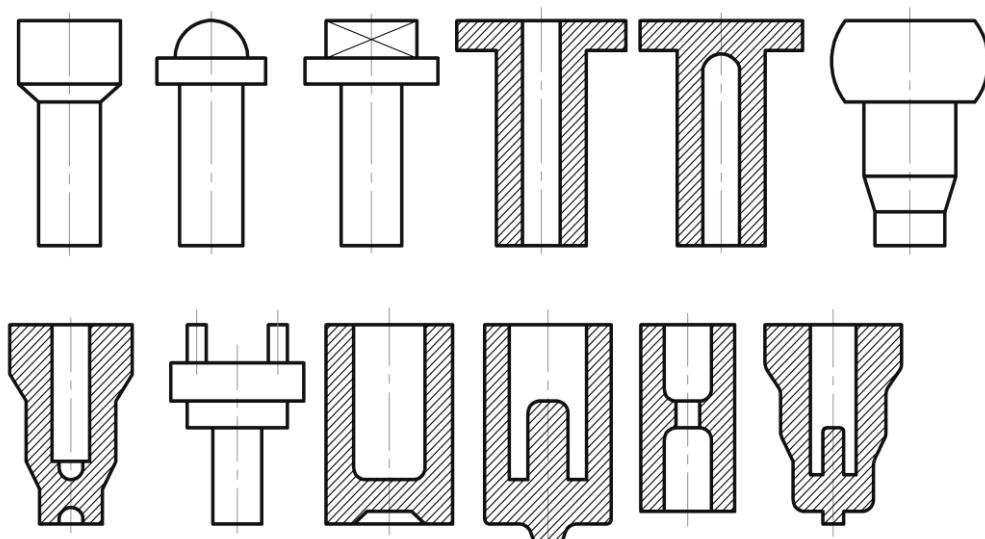


Рис. 4.108. Типові заготовки деталей, які отримують холодним об'ємним штампуванням видавлюванням

Ізотермічне штампування

Особливість ізотермічного штампування (ІШ) у тому, що в заготовці, інструменті та навколишньому обмеженому просторі створюється і постійно підтримується температура, необхідна для деформування оброблюваного металу. [50,64,66,89,120].

Специфіка гарячого деформування в ізотермічних умовах пред'являє особливі вимоги до конструкції та матеріалів штампової оснастки та деформуючого обладнання. Для практичної реалізації ІШ необхідно забезпечити:

нагрівання інструмента до високої ($\sim 1000^{\circ}\text{C}$) температури і підтримування її постійною в процесі штампування;

роботоздатність штампової оснастки в умовах тривалого нагрівання до температури деформації;

надійну теплоізоляцію робочих частин преса і навколишнього середовища від нагрітого до високої температури інструмента.

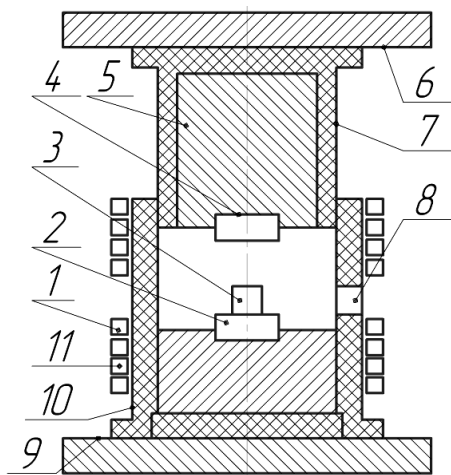


Рис. 4.109. Принципова схема установки для ізотермічного деформування

Установка для ІШ включає систему нагрівання інструмента, пристрій теплоізоляції штампів та штампового простору, систему терморегулювання, систему охолодження. Основний елемент установки – штамповий блок з нагріваючим пристроєм (рис.4.109):

1- штампотримач, 2- нижній штамп, 3- заготовка, 4- верхній штамп, 5- штампотримач, 6- плита, 7- рухомий кожух, 8- завантажувальне вікно, 9- плита, 10- нерухомий кожух, 11- індуктор.

Кожух 7 при відході повзуна вгору не виходить з кожуха 10.

Переваги ізотермічного штампування:

підвищення технологічної пластичності оброблюваного матеріалу;

зменшення зусиль деформування;

можливість деформування тонких заготовок, котрі мають великі площі контакту з інструментом (типу дисків, пластин, лопаток з титанових та інших сплавів).

ІШ виконується на гідравлічних та інших пресах;

в ізотермічних умовах швидкість деформування може бути скільки завгодно малою.

Висадка на електровисаджувальних машинах

Ці машини дозволяють нагрівати вихідні заготовки (круглі або штабові) і одночасно висаджувати на них головку. Перевага цього способу в тому, що площа перерізу висаджуваної заготовки може бути в 40 разів більшою від перерізу вихідного прутка.

Схема машини для електровисадки показана на рис. 4.110. Круглий пруток 1 захоплюється затискними електродами 2 з силою P_1 і гідравлічним пристроєм з силою P_2 притискається до електрода-наковальні 3. При пропусканні струму частина прутка 4 між електродами нагрівається і під дією P_2 пруток зміщується вліво, утворюючи головку осаджуванням. Електрод-наковальня оснащений зносостійкою вставкою. Це напівавтомати. На рис. 4.111 показана машина, на якій можна одночасно деформувати два кінці.

Штампувальне вальцювання

Штампувальне вальцювання (ШВ) виконується шляхом протягуванням заготовок повздовжнім прокатуванням у секторах-штампах кувальних вальців (рис. 4.112). [50,66,102,120].

Кувальні вальці відносяться до ротаційних штампувальних машин, у котрих робочий інструмент обертається. Робочі елементи кувальних вальців – валки 2, котрі на частині довжини кола оснащені секторами-штампами з рівчаками 4 певного профілю. Заготовка 1 подається до упору 3 в момент розходження секторних штампів. Валки обертаючись захоплюють заготовку, деформують її і виштовхують у вихідну позицію. Кувальні вальці застосовують у комплексі з кривошипними пресами для виготовлення фасонних заготовок і поковок. Різні конструкції кувальних вальців показані на рис. 4.113.

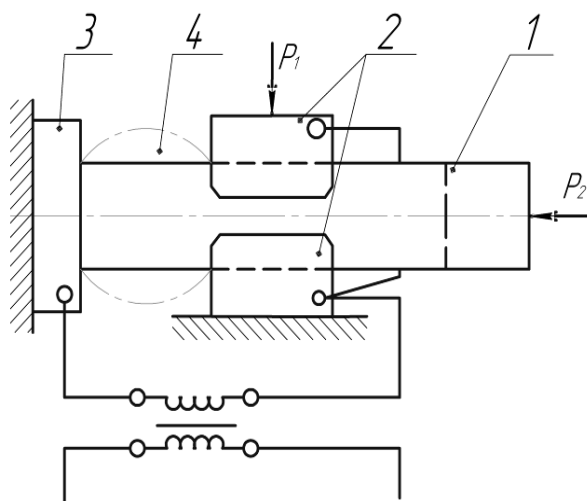
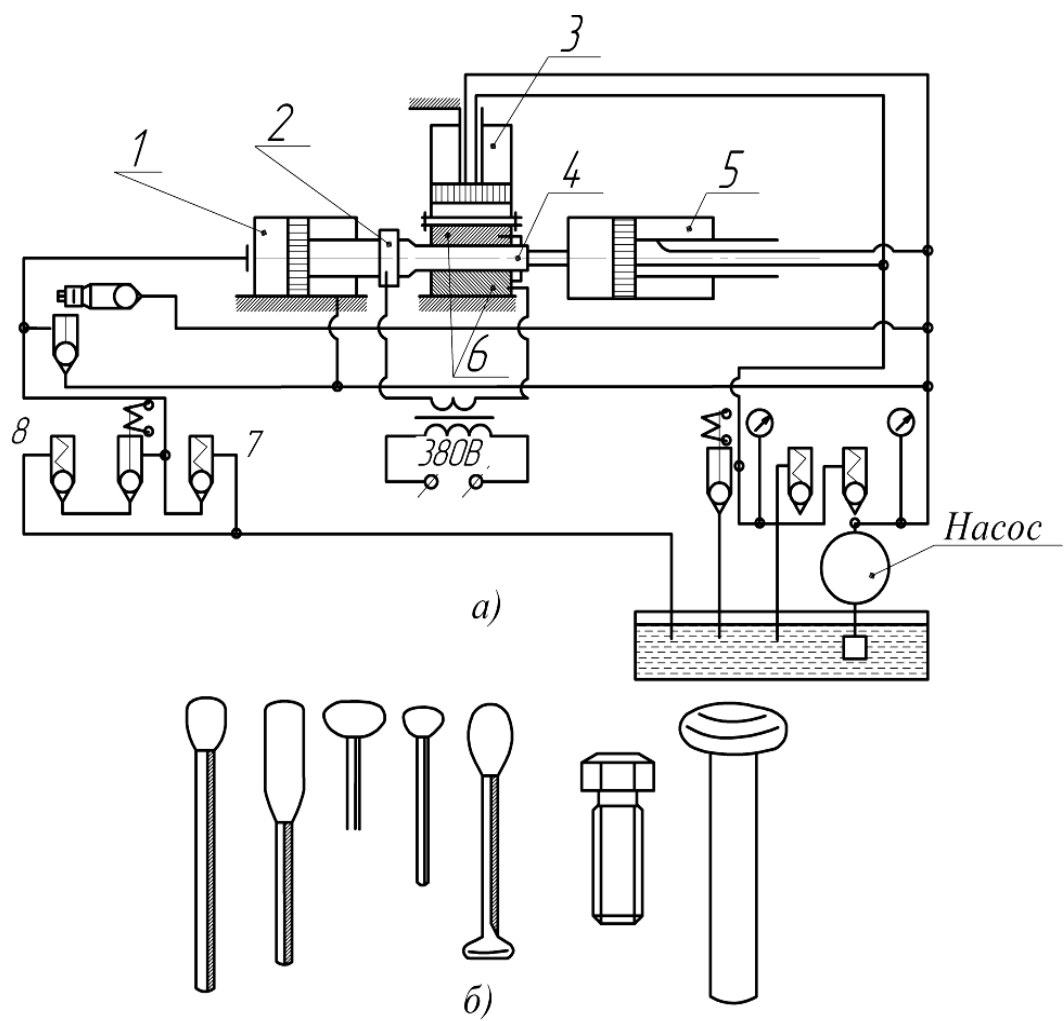


Рис. 4.110. Схема електровисадки



**Рис. 4.111. Схема електровисаджувальної машини (а),
типові поковки (б)**

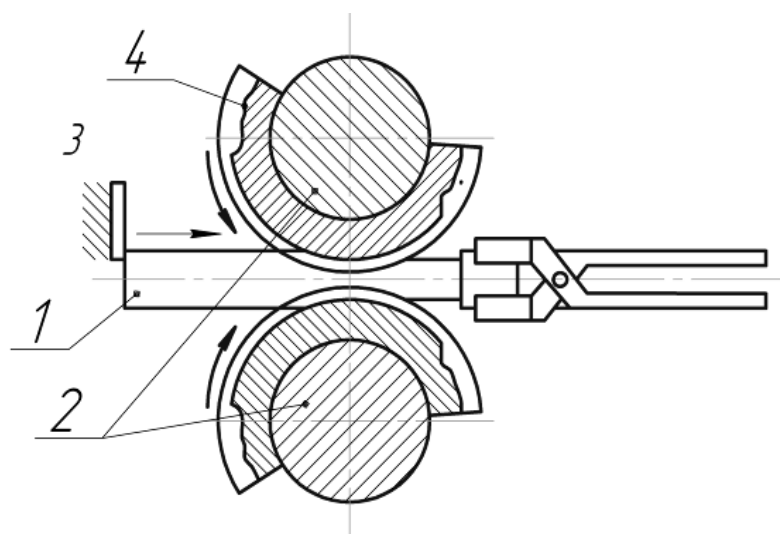


Рис. 4.112. Схема кувальних вальців

Переваги штампувального вальцювання:

менші зусилля деформування, тому що поверхня контакту заготовки з робочими рівчачками в кожен момент складає малу частину від повної поверхні заготовки;

послідовна деформація заготовки по довжині забезпечує високий ступінь деформації при протягуванні;

процес легко автоматизувати.

Цей вид штампування застосовують для виготовлення поковок простої форми типу гайкових ключів, плоскогубців, ланок транспортерів та інших. Поковки отримують «в стрічці» і вони з'єднані між собою спільним облоєм. Продуктивність процесу – до декілька тисяч поковок за зміну.

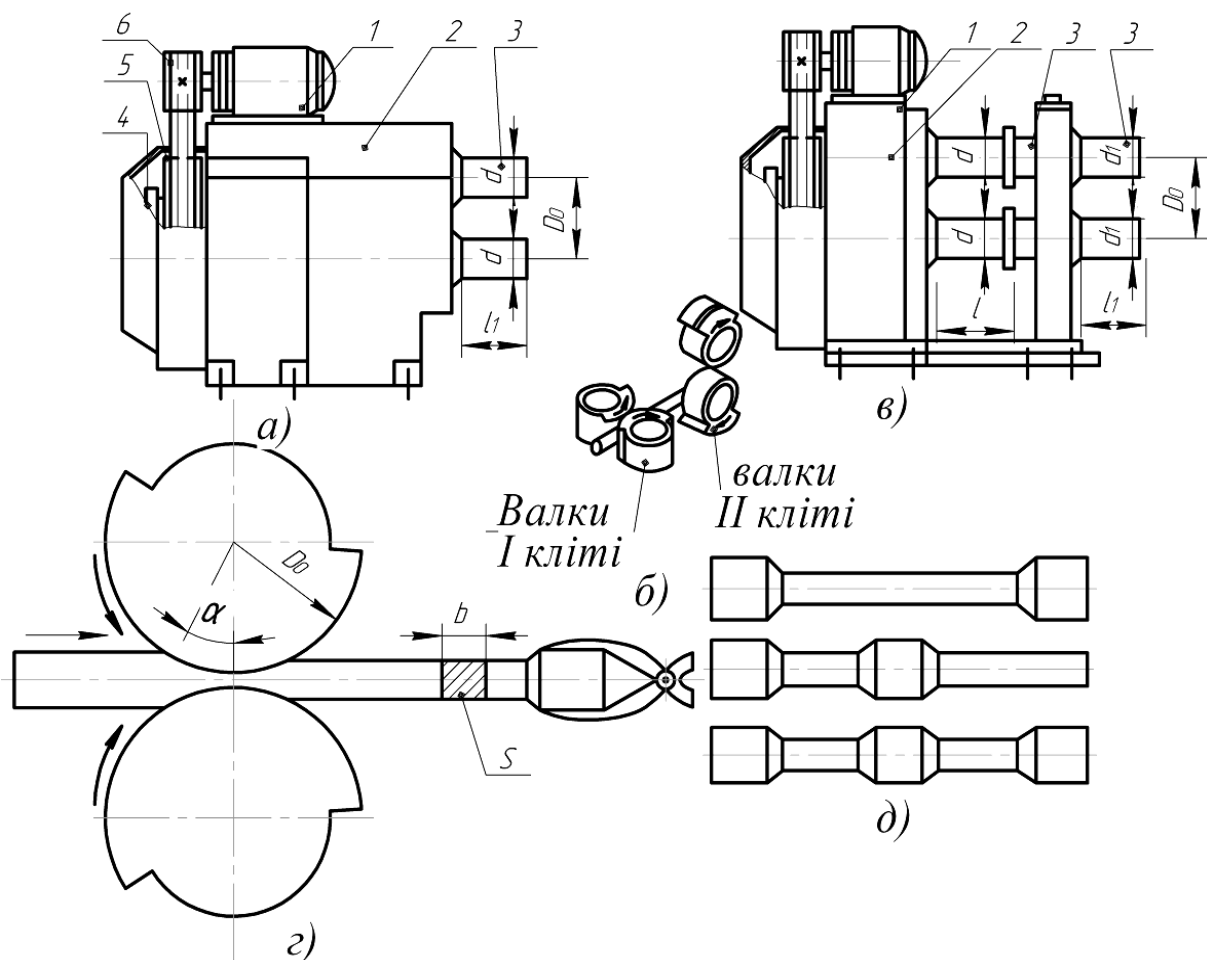


Рис. 4.113. Консольні кувальні вальці (а):

схема розміщення валків у двоклітьових кувальних вальцях (б), закриті кувальні вальці (в), схеми вальцювання (г), поковки, які отримані вальцюванням (д): 1 – електродвигун; 2 – станина; 3 – валки; 4 – пневматична фрикційна муфта; 5 – маховик; 6 – клинопасова передача

Контрольні питання для самоперевірки

1. Штампування на гвинтових пресах (молотах).
2. Штампування на гідравлічних пресах.
3. Штампування на горизонтально-згинальних машинах.
4. Штампування на ротаційно-кувальних машинах.
5. Штампування на висаджувальних автоматах.
6. Холодне об'ємне штампування.
7. Ізотермічне штампування.
8. Висадка на електровисаджувальних машинах.
9. Штампувальне вальцювання.

4.8. Обробка заготовок після гарячого об'ємного штампування.

Види дефектів та контроль якості поковок

Пробивання отворів та обрізування облою

Операції остаточної обробки поковок включають обрізування облою, пробивання отворів, очищення від окалини, випрямлення та калібрування (карбування, чеканку). [8,41,84,120].

Пробивання отворів та обрізування облою виконується як з нагріванням, так і без нагрівання поковок. У більшості випадків для поковок, котрі штампуються на молотах з масою падаючих частин понад 1,5 т та пресах зусиллям понад 10 МН, застосовують гаряче обрізування. Розрізняють прості, послідовні та комбіновані штампи (рис. 4.82).

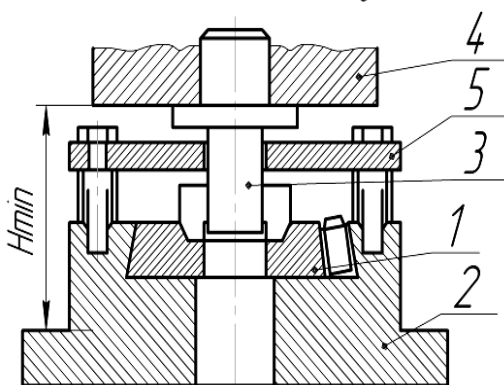


Рис. 4.114. Пробивний штамп

Комплект простого обрізного штампа або пробивного штампа (рис. 4.114) складається з матриці 1, котра закріплюється у блоці 2, і пуансона 3, що закріплюється безпосередньо у повзуні 4 преса.

У послідовному штампі є два комплекти інструмента: один – для обрізки, другий – для пробивання.

Робота виконується за два переходи.

При холодній обрізці слюсарну підгонку пуансонів та матриць виконують за поковкою з партії, що підлягає обрізці, а при гарячій обрізці – за виливком з остаточного рівчака кувального штампа. Пуансон по контуру обрізки підганяють до матриці з зазором за рахунок пуансона. Величина зазору залежить тільки від конфігурації та розмірів перерізу поковки у площинах, перпендикулярних до лінії рознімання (його визначають за таблицями).

При розрахунку висоти штампа необхідно враховувати, що робочий хід пуансона при обрізці знаходиться у межах від трьох до п'яти товщин облою. Для знімання облою з пуансона після обрізки при малих зазорах між пуансоном та матрицею застосовують знімач 5 (рис. 4.114).

Очистка від окалини

Окалина – продукт окислення, що утворюється на поверхні металу. Чим вища температура печі та тривалість нагрівання заготовки, тим більше окислюється її поверхня. Поковку очищують від окалини після обрізування облою, пробивання отворів, термообробки. При штампуванні точних поковок очищення від окалини застосовують і після попереднього штампування.

Є декілька способів видалення окалини, з яких найширше застосовується дробоструминна та дробометальна очистка, галтування та травлення.

Дробоструминне очищення проводять у спеціальних дробоструменних барабанах, у котрих поковки знаходяться на безконечній стрічці або столі, що обертаються. При переміщенні стрічки (стола) поковка повертається, що створює добрі умови для очищення (рис. 4.115, а). Очистка виконується струменем металевого дробу (шроту). Дріб викидається на поковку струменем стисненого повітря. Швидкість дробинок ~ 60 м/с, їх діаметр від 0,5 до 2 мм.

Галтування – спосіб очищення у барабані, котрий обертається, і в якому разом із поковками знаходиться абразивний бій та металеві гострі предмети (рис. 4.115, б).

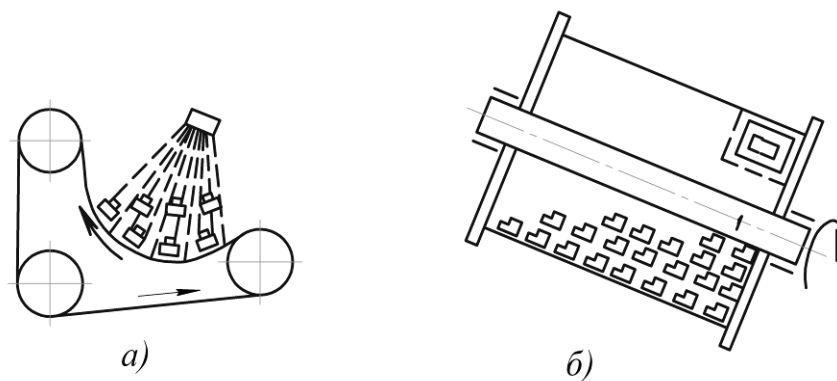


Рис. 4.115. Схема очистки поковок:

а – у дробоструменному барабані; б – у галтувальному барабані

Травлення заключається в дії кислоти на метал. Для сталевих поковок застосовується 20 % розчин сірчаної кислоти при температурі 60 – 90° С; при цьому кислота взаємодіє зі сталлю, відділяючи окалину у вигляді

крихкої плівки. Травлення широко застосовується для очищення поковок з алюмінієвих, титанових, мідних та магнієвих сплавів. Травлення сталевих поковок застосовується порівнюючи рідко.

Вирівнювання та калібрування

Калібрування підрозділяється на площинне, криволінійних поверхонь та об'ємне. Звичайно це холодне обтискання (є і гаряче).

Площинне калібрування підвищує точність розміру між двома площинами поковки і якість їх поверхонь. При цьому течія металу в сторони, перпендикулярні напрямкові обтискання, необмежена.

Коли калібруванням – вирівнюванням отримують точний розмір між поверхнями, припуск складає 0,2 – 0,8 мм на розмір. Якщо необхідно одержати точний рельєф, припуск дорівнює 0,8 – 2 мм на розмір. Допуск на калібрування коливається в межах від $\pm 0,08$ до $\pm 0,25$ мм та вище.

Калібрування криволінійних поверхонь – більш складний вид калібрування. Такі поверхні калібрують за декілька ходів преса, причому після кожного ходу повзуна поковку повертають на деякий кут. Тому, що в цьому випадку течія надлишкового металу в сторони обмежена, довжина виробу дещо збільшується. Це повинно бути враховано при штампуванні поковки.

Об'ємне калібрування виконується в рівчаках штампа, форма котрих близька до форми остаточного рівчака. Тому, що вільна течія металу утруднена, то він частіше видавлюється в значний облой. Об'ємне калібрування потребує більших напруг деформування, ніж площинне. Точність одержуваних розмірів при цьому на 30-40 % нижча.

Калібрування виконується на різному обладнанні. Холодне об'ємне калібрування, як і площинне, виконується на кривошипно-колінних пресах. (ГОСТ 5384-89. Преси холодноштампувальні кривошипно-колінні. Розміри і розміщення пазів). Гаряче калібрування виконують на штампувальних молотах, гвинтових та кривошипних пресах, при цьому допуски на 50 % більші ніж при холодному калібруванні. Гаряче калібрування виконують при температурі нижчій, ніж температура закінчення штампування. Наприклад, для сталевих поковок – 700-850° С, для алюмінієвих – 300-400° С, для магнієвих – 230-250° С.

Термічна обробка поковок

Термічна обробка (ТО) є важливою операцією технологічного циклу виготовлення поковок, тому що вона дозволяє отримати механічні властивості, котрі задані в ТУ на поковку.

Основні види термічної обробки: відпал, нормалізація і гартування з наступним відпуском.

Відпал полягає в нагріванні поковок до певної температури, видержці при цій температурі і повільному охолодженні разом з піччю. У результаті утворюється стійка структура металу, котра вільна від залишкових напруг. У залежності від температури нагрівання розрізняють повний, неповний, ізотермічний, дифузійний та інші види відпалу.

Нормалізація відрізняється від відпалу тим, що охолодження ведеться не з піччю, а на повітрі, тобто з більшою швидкістю. При нормалізації у поковках усуваються внутрішні напруги, підвищуються механічні властивості металу. Її часто застосовують як проміжну операцію для підготовки поковок до наступної ТО.

Гартування полягає в нагріванні поковки до температури гартування, видержці та прискореному охолодженні поковок, як правило, у воді або в маслі (відповідно для вуглецевих та легированих конструкційних сталей). У результаті гартування поліпшуються механічні властивості, підвищується експлуатаційна надійність та довговічність виробів.

Відпускання полягає в нагріванні загартованої сталі до температури не вищої 650°C , видержці при цій температурі і наступному охолодженні. Відпуск проводять для знімання внутрішніх напруг у загартованій сталі і підвищення її в'язкості. Температура нагрівання при відпусканні від 150 до 650°C .

Гартування сталі з наступним високим відпуском при температурі 500 - 650°C називається поліпшенням і є найефективнішим видом ТО для конструкційних сталей.

У ковальських цехах термічній обробці звичайно піддають холодні поковки. Усе ширше застосовують прогресивні процеси з використанням кувальної теплоти, коли поковку відразу після штампування направляють у термічну піч рядом з дільницею кування або штампування. При цьому економиться енергія та праця.

Термічна обробка кольорових сплавів відрізняється від обробки сталей режимами нагрівання та охолодження.

Алюмінієві та мідні поковки піддають гартуванню з наступним старінням: природним (з видержкою до декількох діб) та штучним.

Поковки з магнієвих сплавів піддають відпалу або гартуванню та штучному старінню.

Поковки з титанових сплавів піддають гартуванню з різними видами відпалу.

У МВ та ВСВ застосовують електричні та газові печі конвейерного та тунельного типу. Печі, котрі призначені для гартування, можуть використовуватися і для нормалізації. У великих цехах застосовують також гартувально-відпускні агрегати з нейтральною атмосферою.

Вимоги, які пред'являються до якості поковок

Загальні вимоги (ТУ) та методи випробування поковок з конструкційних вуглецевих, низьколегованих та легованих сталей установлені ГОСТ 8479-85. За формою та розмірами поковки повинні відповідати кресленню готового виробу з припусками на обробку різанням, технологічними напусками та допусками на точність виготовлення.

Поковка не повинна мати флокенів, розшарувань, тріщин, заковів, пісочин, волосовин, плен, забоїн та інших дефектів. На необроблюваних поверхнях поковок допускаються окремі місцеві дефекти: їх залишають або видаляють за умови збереження розмірів поковки в межах допуску. На оброблюваних різанням поверхнях допускаються дефекти, глибина котрих не перевищує 75 % припуску на обробку для кованих і 50 % для штампованих поковок. Якщо глибина дефектів більша від припуску, то для вуглецевих та низьколегованих сталей допускається їх полога вирубка та заварювання.

Облой на необроблюваних поверхнях штампованих заготовок повинен бути видалений за вимогою споживача. На поверхнях поковок, котрі підлягають калібруванню, дефекти не допускаються.

ГОСТ 8479-85 у залежності від призначення розділяє поковки на п'ять груп, у відповідності до яких установлюються види випробувань та умови комплектування партії:

I – група поковок без випробувань;

II – група поковок з контролем твердості (5 %);

III – група поковок з контролем твердості (100 %);

IV та V групи поковок з випробуванням на розтягування, ударний згин та твердість.

Випробування механічних властивостей виконують на поздовжніх зразках (іноді на радіальних, тангенціальних або поперечних), коли вісь поковки та поздовжня вісь зразка паралельні. Механічні властивості на розтягування визначають за ГОСТ 1497-84.

ГОСТ 8479-85 усі поковки розділяє на 16 категорій міцності (від КП 18 до КП 80, де цифра вказує на границю текучості σ_T кГс/мм²). Там же наведені відносне подовження δ_5 % та HB.

Фактори, котрі впливають на якість поковок

На якість поковок впливають такі фактори:

пластичність металу (у поковках з важкодеформованих сталей та сплавів дефектів завжди більше, ніж у поковках з конструкційних вуглецевих сталей);

маса поковки та ступінь складності її виготовлення;

якість поверхні вихідного зливка або заготовки з прокату (не повинно бути дефектів, окалини);
спосіб нагрівання вихідної заготовки;
стан робочих поверхонь бойків або штампів;
відповідність ковальсько-пресового обладнання;
рівень технологічної дисципліни та кваліфікації робітників;
ступінь механізації та автоматизації.

Дефекти кованих заготовок та причини їх виникнення

Дефекти у поковках можуть виникати через недоброякісні вихідні матеріали або через недотримання технологічного процесу.

Зовнішні дефекти зливків – поздовжні та поперечні тріщини, плени, поверхневі включення та інші переходять при куванні на поверхню поковки.

У поковок можуть виявитись і внутрішні дефекти зливків – залишки усадочної раковини та рихлоти; пузири, що не заварилися; крупні неметалеві включення; сильно розвинена зональна ліквіація та інші.

Зовнішні тріщини (розривини) виникають у поковках від недоброякісного вихідного зливка, при перепалі металу в процесі нагрівання, куванні при низьких температурах, швидкому та нерівномірному охолодженні (особливо з легованих сталей), застосуванні великих обтискань при куванні. Тріщини вирубують у гарячому або холодному стані.

Внутрішні тріщини (розриви) у вигляді свищів та розшарувань можуть виникати при недостатньому нагріванні серцевини зливка або заготовки, а також через недотримання рекомендованих подач при протягуванні (наприклад, при куванні з круга на круг тощо).

Розшарування спостерігаються при значній осадці плоскими бойками, великих розмірах контактних поверхонь і малій висоті осадженої поковки.

Плени – це заковані в тіло поковки тонкі поверхневі відстаючі шари металу, котрі утворюються від заливів та бризок металу, що пристали до поверхні зливка і при куванні розтягнулися в тонкий шар.

Волосовини – це дрібні та тонкі тріщини, котрі утворюються у процесі прокатування та кування сталі, яка має дрібні газові пузири, або при дуже швидкому охолодженні поковок. Їх виявляють візуально тільки після травлення або фінішних операцій, що дорого коштує.

Флокени – це неокислені внутрішні тріщини, котрі утворюються в результаті крихкого руйнування металу при швидкому охолодженні поковок після кування. Щоб не виникали флокени необхідно зменшити кількість водню, котрий поглинається рідкою сталлю під час виплавляння і забезпечити повільне охолодження поковок до 100-200° С.

Затиски (рис.4.28, ж) утворюються при протягуванні в результаті малих подач і великих обтискань кромek або уступів, коли під інструментом утворюється складка металу.

Вм'ятини утворюються головним чином від окалини, котру вчасно не видалили з бойків і закували при наступному обтисканні. Вони виявляються після очищення поверхні поковок від окалини.

Неметалеві включення (шлаки, піщинки, частини вогнетривів та інші) та сліди усадочної пухкості зливка, що залишилась у поковках, з'являються найчастіше при неповній видаленій додатковій частині зливка. Виявляються вони, як правило, при наступній обробці різанням.

Дефекти у поковках можуть виникати також через недотримання технологічного процесу їх виготовлення: нагрівання, кування, охолодження та ТО, невідповідного обладнання та інструменту.

При надзвичайно великих швидкостях нагрівання можуть виникнути тріщини. При тривалому нагріванні на зливках утворюється товстий шар окалини, який призводить до утворення вм'ятин. При недогріванні через недостатню пластичність можуть утворитися тріщини. Дефектом поковок є знеуглецювання їх поверхні на глибину, що перевищує припуск на обробку різанням. Перегрів та перепал також недопустимі.

Іноді при протягуванні торці поковок стають угнутими – «халява» (виникає при малих величинах обтискання та подач за хід преса, недогріванні заготовки та недостатній потужності обладнання).

При відрубці кінців готових поковок на металі утворюються утяжки та вм'ятини від сокири (залишають припуск 20-30 мм на видалення).

При прошиванні та пробиванні отворів може з'явитися велика утяжка (сильно затягнуті краї отвору), котра утворюється при пробиванні заготовок, що мають велику товщину. Якщо діаметр отвору підкладного кільця значно більший від діаметра отвору, що пробивається, на виході прошивня по краях отвору може з'явитися облой. Зазор між прошивнем і підкладним кільцем повинен складати 0,1 від висоти заготовки, котра пробивається.

При недостатній температурі нагрівання металу заготовки утворюються розривини та тріщини.

Дефекти, що викликані недотриманням режимів термічної обробки, іноді можна виправити повторною ТО.

Усі дефекти поковок ділять на дві групи:

I – ті, які можна виправити – неглибокі тріщини, складки, вм'ятини (в межах припуску), а також дефекти, що викликані перегрівом металу;

II – ті, які не можна виправити – глибокі тріщини, залишки усадочної раковини та пухкості, недопустимі за величиною неметалеві включення, флокени, а також дефекти, що викликані перепалом металу.

Дефекти штампованих заготовок та причини їх виникнення

Основними видами дефектів штампованих заготовок є дефекти за вихідним матеріалом і такі, що виникають при відрізці заготовок, їх нагріванні, гарячому об'ємному штампуванні, обрізці облою і пробиванні отворів, термічній обробці і очистці від окалини.

Щодо дефектів за вихідним матеріалом, то вихідний матеріал (прокат, пресовані прутки та інше) може мати різні дефекти і його контролюють на відповідність марки сталі (твердість, пробою на іскру, стилоскопом).

Дефекти, що виникають при відрізці заготовки, відрізняються великою кількістю і різними формами, що залежать від матеріалу і умов відрізування.

Основними дефектами торців заготовок, котрі відрізаються на прес-ножицях є наступні.

Зминання поверхні 1 (рис.4.116) та утяжка 2 – котрі приводять до овальності круглого перерізу. На відрізаний заготовці завжди є зона надрізу 3 (блискуча вузька смуга) та зона сколу 4 (матова поверхня, що займає майже весь торець заготовки). При цьому торець вільно відрізуваної заготовки має більше викривлення, ніж торець затисненого прутка. Чим м'якша сталь, тим більша зона надрізу та сліди пластичної деформації (зминання та утяжка).

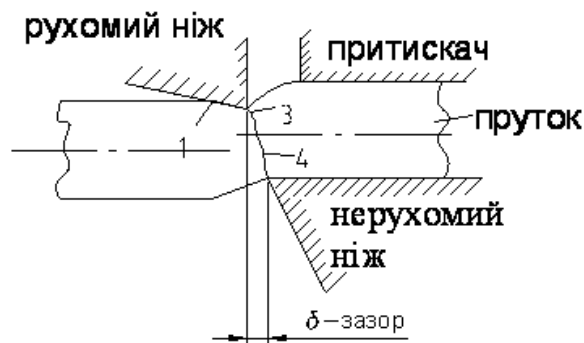


Рис. 4.116. Схема відрізування заготовки на прес-ножицях

При правильно вибраному зазорі δ між ножами тріщини, що призводять до сколу прутка, з'єднуються і утворюють одну поверхню.

Якщо зазор δ менший, то з'являється закол (рис 4.117, а), а при подальшому штампуванні утворюється затиск. При різанні малопластичної сталі сколюючі тріщини можуть перерости в тріщини злому з утворенням на торці заготовки глибоких виривів (рис. 4.117, б). При великому зазорі між ножами, а також при затупленні ножів, на заготовках з пластичної сталі утворюється значна утяжка та облой (задирка), (рис.4.117, в). При різанні більш міцної сталі в цьому випадку спостерігається ступінчастість

торця (рис.4.117, г). Причиною надзвичайно косого зрізу (до 12°) є значний кут повороту заготовки (рис. 4.117, д), що пояснюється недостатньою

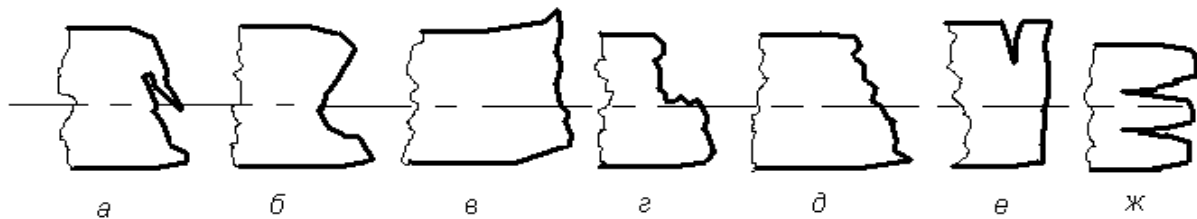


Рис. 4.8.4. Види дефектів при розрізуванні прутків

силою притискання прутка. Поперечний злом (рис.4.117, е) може з'явитися при різанні недостатньо нагрітих заготовок з легованої сталі. При холодному різанні можуть утворитися торцеві тріщини (рис. 4.117, ж).

Неточна довжина вихідної заготовки виникає внаслідок неправильної установки упору.

Дефекти, що виникають при нагріванні заготовок, виправляють точним додержанням технологічного процесу. До дефектів, що викликані неправильним нагріванням вихідних заготовок, відносять:

недогрів, що викликає розриви, незаповнення рівчака, зростання сил штампування;

перегрів вище верхньої межі, що викликає ріст зерна і зниження пластичності металу, появу тріщин (його можна виправити відпалом та нормалізацією);

перепал (при $t = 1250-1300^\circ \text{C}$) – зерна металу стають дуже великими і зв'язок між ними значно послаблюється, внаслідок чого у проміжки між зернами проникає кисень, зерна на границях окислюються і навіть оплавляються (при деформації такі заготовки руйнуються навіть при невеликих зусиллях; це невиправний брак).

Окалиноутворення – це результат хімічного з'єднання металу з киснем при високій температурі. При цьому утворюються оксиди заліза FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , що викликає вигар металу до 3 %. Крім кисню окислювачами сталі є сірчистий та вуглекислий газ, а також водяна пара.

Знеуглецювання – це процес вигорання вуглецю з поверхні заготовки. Це м'який та неміцний шар, який не гартується. Його видаляють при обробці різанням.

Термічні тріщини – утворюються в результаті надзвичайно швидкого нагрівання крупних та легованих заготовок.

На етапі нагрівання вихідних заготовок намагаються зменшити окислення металу та утворення окалини, тому що вони викликають вигар металу, знос штамів та вм'ятини.

Дефекти, котрі виникають при штампуванні, включають наступне.

Найчастіше утворюються затиски (складки) металу. Причин появи затисків дуже багато. Затиски є дуже небезпечним дефектом, який приводить до крупних аварій. Для попередження затисків необхідно правильно розрахувати конструкцію штампа. При видавлюванні особливу увагу приділяють змащуванню інструмента.

Вм'ятини – є слідами заштампованої, а після видаленої окалини. У вигляді забоїв вони утворюються при видаленні гарячої поковки, котра застрягла у штампі, та при перекиданні поковок.

Збільшення усіх розмірів поковки у напрямі руху повзуна преса або баби молота спостерігається при її недоштампуванні, що є результатом застосування заготовки з надлишковою масою, використання обладнання недостатньої потужності, недогріву металу та інші.

Брак також виникає при перекосі штампів, неправильній установці заготовки в рівчаку тощо.

При обрізуванні облою виникають такі дефекти:

- зминання поковки, якщо пуансон не підігнаний по поковці, а зусилля обрізки досить велике;

- при зміщенні поковки відносно матриці може залишитися різний залишок облою (допустимий облой – за ГОСТ 7505-89);

- при збільшенні зазору між матрицею та пуансоном метал затягується в зазор.

При термічній обробці поковок виникають такі дефекти:

- найнебезпечніший дефект – гартівні тріщини, вони тонкі і глибоко проникають у тіло поковки;

- у поковці після ТО може спостерігатись занижена або підвищена твердість, а також розсіювання твердості по поковці, що виправляється додержанням режимів ТО.

При очищенні поковок від окалини виникають такі дефекти:

- при неповному очищенні на поверхнях поковки часто зберігається окалина;

- перетравленість, що викликає рихлість та пухкість поверхні;

- при галтуванні у барабанах можуть утворитися забоїни.

Для усунення дефектів при травленні необхідно видержувати режими, склад та концентрацію розчину.

До дефектів, які можна виправити при штампуванні поковок, відносять:

- риски, волосовини, закати та затиски – видаляють заточуванням або вирубкою;

- викривлення форми – усувають виправленням;

- перегрів – виправляють нормалізацією;

незначні незаповнення рівчаків штампа, вм'ятини, невеликі зміщення по площині рознімання штампів – виправляють перештампуванням поковок.

До дефектів поковок, які не можна виправити, відносять:

торцеві, гартівні та інші тріщини;

розшарування;

перепал металу;

значні незаповнення порожнини рівчака штампа через маломірність заготовки;

лом-бій та інші.

Для контролю поковок застосовують:

магнітопорошковий метод неруйнівного контролю;

люмінесцентний метод дефектоскопії;

рентгено– та гамма дефектоскопію;

ультразвукову дефектоскопію.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Пробивання отворів та обрізування облою.
2. Очищення від окалини.
3. Вирівнювання та калібрування.
4. Термічна обробка поковок.
5. Вимоги, які пред'являють до якості поковок.
6. Фактори, що впливають на якість поковок.
7. Дефекти кованих заготовок та причини їх виникнення.
8. Дефекти штампованих заготовок та причини їх виникнення.

5. ЗВАРНІ ТА ІНШІ ЗАГОТОВКИ

5.1. Зварні заготовки

Загальні положення

Зварювання – це технологічний процес отримання нерознімних з'єднань різних матеріалів. Зварювання застосовують для з'єднання однорідних та різнорідних металів та сплавів, а також пластмас.

У машинобудуванні зварювання найширше застосовують для виготовлення конструкцій з листового прокату (ємності, обшивки, об'ємні конструкції), з труб та профільного прокату (ферми, стояки, стріли кранів, рамні конструкції) [78, 110].

Зварюванням також отримують крупні корпусні та базові деталі (станини пресів та молотів, різних верстатів). У ОВ та МСВ зварні конструкції часто застосовують замість суцільноштампованих та литих (дорога оснастка). Для спрощення виготовлення часто вигідно розділяти складні штамповані поковки та виливки на окремі, а після їх зварювати.

За технологічними ознаками зварювання розділяють на зварювання з тиском – пластичне, та зварювання без тиску – плавленням.

Зварювання тиском розділяється на зварювання без застосування нагрівання (холодне зварювання); зварювання з нагріванням без оплавлення (контактне стикове зварювання опором, газопресове зварювання); зварювання з нагріванням до оплавлення (контактне стикове зварювання з оплавленням).

Зварювання без тиску (плавленням) розділяється на зварювання з розплавленням основного металу (електродугове, газове зварювання) та зварювання без оплавлення основного металу, але з розплавленням присадного металу (тобто паяння).

Застосовують такі способи зварювання: дугове ручне, автоматичне дугове під флюсом, дугове в захисних газах (аргон, гелій), атомно-водневе (в струмені водню, що попереджує окислення шва), електрошлакове, контактне, ацетилено-кисневе, газопресове, термітне, тертям, вибухом, пічне, холодне пресове, індукційне, дифузійне, електронно-променеве, ультразвукове та лазерне.

Добре зварюються маловуглецеві сталі ($C < 0,25 \%$), низьколеговані сталі з низьким вмістом вуглецю та нікелеві сталі. Зварювання високовуглецевих, середньо- та високолегованих сталей викликає певні труднощі.

Зварювання мідних та алюмінієвих сплавів ускладнене через високу теплопровідність та легку окислюваність, внаслідок чого утворюються тугоплавкі оксидні плівки, і потребує застосування флюсів.

Зварюваність сталей різних марок така:

добра (Ст0 ,..., Ст3; 0,8 ,..., 25; 15Г, 20Г);

задовільна (Ст4, Ст5; 30; 30Г; 15Х та інших);

обмежена (Ст6; 35, 40, 45; 20Х ,..., 45Х; 40Г та інших);

погана (Ст7; 50 ,..., 65; 50Х; 35ХС; 35ХМ та інших).

При виборі способу зварювання необхідно враховувати такі фактори:

характер (тип) виробництва (при МВ, ВСВ та ССВ застосовують автоматичне та механізоване зварювання; при ОВ та МСВ – ручне);

продуктивність процесу (за продуктивністю різні види зварювання розміщуються в такій послідовності: контактне, електродугове, автоматичне, електродугове автоматичне, електродугове ручне, газове);

характер зварювальних робіт (при ремонтних та монтажних роботах використовують ручне дугове та газове зварювання; для наплавочних робіт – автоматизоване дугове та газове зварювання);

хімічний склад та фізико-механічні властивості зварюваного металу (не усі метали однаково зварюються різними способами, наприклад: для маловуглецевої сталі можна з успіхом користуватись усіма способами зварювання; чавун зварюється переважно газовим, рідше електродуговим зварюванням; зварювання тиском для чавунів не застосовується; кольорові метали зварюють, користуючись, переважно, способом газового зварювання; паянням з'єднують більшість металів та сплавів у різних сполученнях);

переріз (товщину) зварюваного металу (газовим зварюванням економічно вигідно зварювати тонкі деталі товщиною до 2 мм; точкове та шовне (роликове) зварювання застосовують для заготовок обмеженої товщини; для сталевих заготовок великої товщини застосовують автоматичне електродугове зварювання під флюсом та ванно-шлакове зварювання; для стержневих деталей та труб застосовують стикове зварювання).

Види зварних з'єднань

Основні види зварних з'єднань (швів) дуговим та газовим зварюванням такі: стикові – С, кутові – У, з'єднання з напустком – Н, таврові – Т.

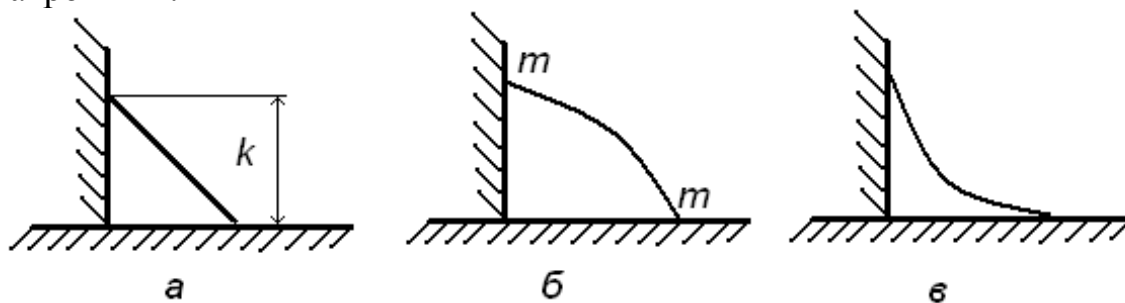


Рис. 5.1. Види кутових швів

Кутові шви трикутного профілю (рис. 5.1) виконують прямими (а), опуклими (б) та угнутими (в). Найчастіше застосовують прямі (нормальні) шви. Випуклі шви (б), котрі умовно називають швами з підсиленням, схильні до утворення підрізів (непровари на ділянках m з'єднання шва зі стінками деталей) і мають понижений опір втомлюваності. Найміцніші угнуті шви (в), але їх важко виконувати.

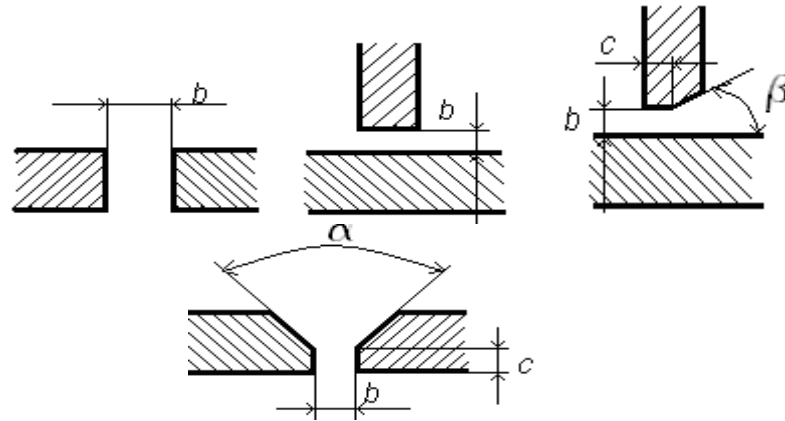


Рис. 5.2. Форми розчищення кромки

Форму розчищення кромки та їх складання під зварювання (рис. 5.2) характеризують чотири основних конструктивних елементи: зазор b , притуплення c , кут β скосу кромки та кут α розчищення кромки, який дорівнює β або 2β .

Основною розмірною характеристикою кутових швів є розрахунковий катет k .

Катет швів з'єднань з напуском при зварюванні тонких листів (менше 4 мм) виконують рівним товщині S листів (рис. 5.3, а). Для матеріалів більшої товщини (4-16 мм) катет шва визначають за формулою

$$k = 0,4 S + 2, \text{ мм} . \quad (1)$$

При зварюванні матеріалів різної товщини (б, в), катет шва виконують рівним товщині S більш тонкого матеріалу, але не більшим ніж за ф. (1).

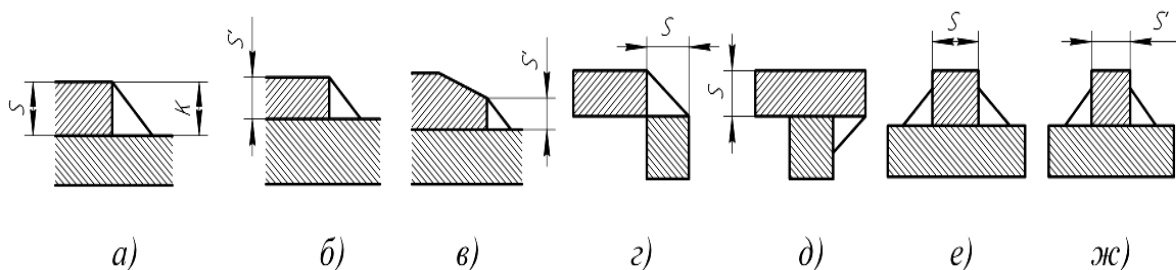


Рис. 5.3. Розміри швів трикутного профілю

У кутових з'єднаннях з однаковою товщиною стінок (г) розмір катета заданий товщиною кромок.

У кутових та таврових з'єднаннях (д, е), де розміри шва можуть бути довільними, катет шва роблять рівним товщині S зварюваних матеріалів, але не більшим від значень, визначених за ф. (1). При тавровому з'єднанні матеріалів різної товщини (ж) катет шва роблять рівним товщині S більш тонкого матеріалу.

Серед різних видів з'єднань найбільш прості та міцні – стикові (рис. 5.4, а, б). Недолік з'єднань з напуском (в, д) у тому, що під дією розтягуючих або стискаючих сил вони піддаються дії згинального моменту, рівного добуткові діючої сили на суму напівтовщин зварюваних листів і деформуються (г, е). Продуктивність зварювання через наявність двох швів нижча, а маса вища від стикових.

Шви з напуском можна зміцнювати додатковим проварюванням (ж) або накладками (з).

Різновидність з'єднань з напуском з прорізними та проплавленими швами (рис. 5.5) трудомістка і неякісна (електрозаклепки) і застосовується дуже рідко.

Кромки зварюваних тонких листів товщиною до 3 мм стикових та кутових з'єднань розчищають згинанням (рис. 5.6, а, и).

Кромки листів товщиною до 8 мм при ручному дуговому зварюванні і до 20 мм при автоматичному роблять прямими, перпендикулярними до площини листа. Для проварювання на повний переріз зварювані деталі збирають з зазором $t = 1 - 2$ мм (б, к), який при зварюванні заповнюється рідким металом.

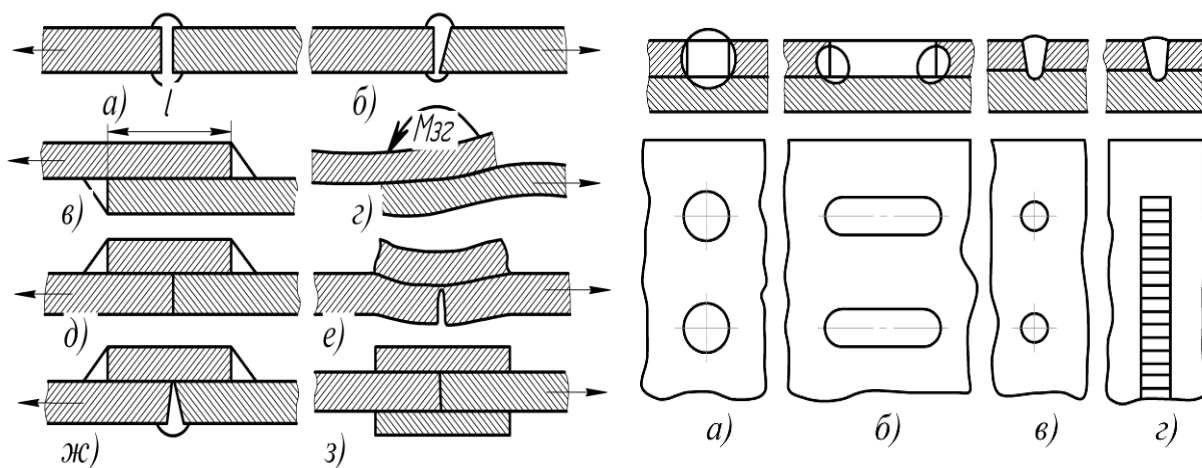


Рис. 5.4. Схеми роботи напусткових з'єднань

Рис. 5.5. З'єднання:
а, б – прорізні; в, г – проплавлені

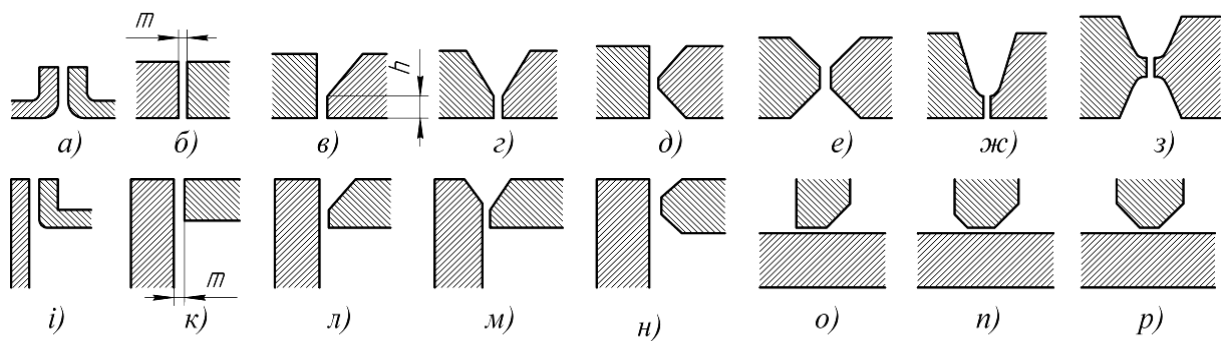


Рис. 5.6. Оброблення кромок

При більшій товщині необхідне розчищення кромки, яке найчастіше заключається в зніманні фаски з метою створення зварювальної ванни і забезпечення проплавлення металу на повний переріз деталей. Основні типи розчищення кромки наведені на: в – з для стикових з'єднань, л – н – для кутових та о – р – для таврових. Гострі кромки притупляють, передбачивши на них стрічки висотою $h = 2 - 4$ мм (в). Кругові фаски отримують точінням, прямі – фрезеруванням та струганням. При товщині кромки 15 – 20 мм фаски знімають автоматичним газовим різанням.

Міцність зварних швів та шляхи її підвищення

Міцність зварних швів (ЗШ) звичайно нижча від міцності суцільного матеріалу (складає $\sim 50 - 100$ %) внаслідок литої структури шва з характерними для литого металу дендритними та стовпчастими кристалітами.

Міцність та в'язкість зварного шва знижується внаслідок потрапляння шлаків, утворення пор та газових бульбашок, тріщин, а також від хімічних та структурних змін у матеріалі шва (вигорання легуючих елементів, утворення карбідів, оксидів, нітрідів). Насичення зварного шва азотом повітря навіть у невеликій кількості викликає різке зниження пластичності і підвищення крихкості шва. При збільшенні вмісту азоту від 0 до 0,2 % відносно подовження δ % знижується від ~ 30 до 2,5 %, а σ_s збільшується $\sim$ у 2 – 2,5 рази.

У зварному шві та навколошовній зоні виникають внутрішні напруження, що викликають жолоблення виробу. Ці напруження обумовлені усадкою матеріалу при остиганні. Зниження міцності невелике у виробів з низьковуглецевих сталей, пластичність котрих запобігає появленню внутрішніх напруг, і не має великого значення для конструкцій, які працюють при статичному навантаженні, але відчутні в циклічно навантажених конструкціях, особливо з високоміцних сталей, чутливих до концентрації напруг.

Для запобігання хімічним змінам у матеріалі шва зварювання виконують під розплавленим флюсом або в атмосфері нейтральних та відновних газів.

Зварювання викликає жолоблення виробів тим сильніше, чим більша зона термічного впливу зварювання (наприклад, при газовому зварюванні) і чим більша протяжність та переріз швів.

Жолоблення зменшують зварюванням виробів у жорстких пристроях особливими прийомами накладання шва (переривисті, багат шарові, багатопрохідні, симетричні, ступінчасті шви). Знімає поведку стабілізуюча термічна обробка після зварювання (низький відпал при $600 - 650^{\circ}\text{C}$).

Механічні властивості зварного шва залежать від технології та режимів зварювання, особливо ручного. Відповідальні зварні шви контролюють за допомогою методів магніто-, рентгено- та гамма дефектоскопії. Найбільш чутливий та точний ультразвуковий контроль.

Міцність зварних з'єднань підвищують конструктивними (раціональне розміщення швів відносно діючих сил) і технологічними (захист шва від шкідливих впливів при зварюванні, термічна обробка, зміцнююча обробка холодною пластичною деформацією) прийомами.

Конструктивні та технологічні методи підвищення міцності зварних швів

На видах 1 – 3 (рис. 5.7) показано послідовне зміцнення вузла приварки фланця, навантаженого $M_{кр}$, збільшенням діаметра кільцевого шва. Опір зсуву (пропорційно квадратові діаметра) в конструкції 2 у 7 разів, а в конструкції 3 у 18 разів більший ніж у конструкції 1.

При правильній конструкції шва додаткові кріплення (на різьбі – 4, посадках з натягом – 5 та інші) зайві.

Доцільно розвантажувати зварний шов, переносячи сприймання навантажень на ділянки суцільного матеріалу і залишаючи за зварним швом тільки функцію з'єднання деталей.

Приклади розвантаження зварних швів показані на видах 6, 7 (стержень навантажений осьовою силою) та на видах 8, 9 (упорний фланець).

Розвантаження зварних швів у вузлі кріплення кришки до обичайки наведені на видах 10, 11.

Силові шви слід навантажувати переважно на зсув та розтягування, усуваючи вигин.

Конструкція 12 недоцільна (частина шва з боку дії сили P працює на розрив та зсув). У 13 шов розвантажений від зсуву, але поперечний переріз ослаблений зварним швом. У конструкції 14 шов практично розвантажений від дії сили P та служить тільки для фіксації стержня в деталі.

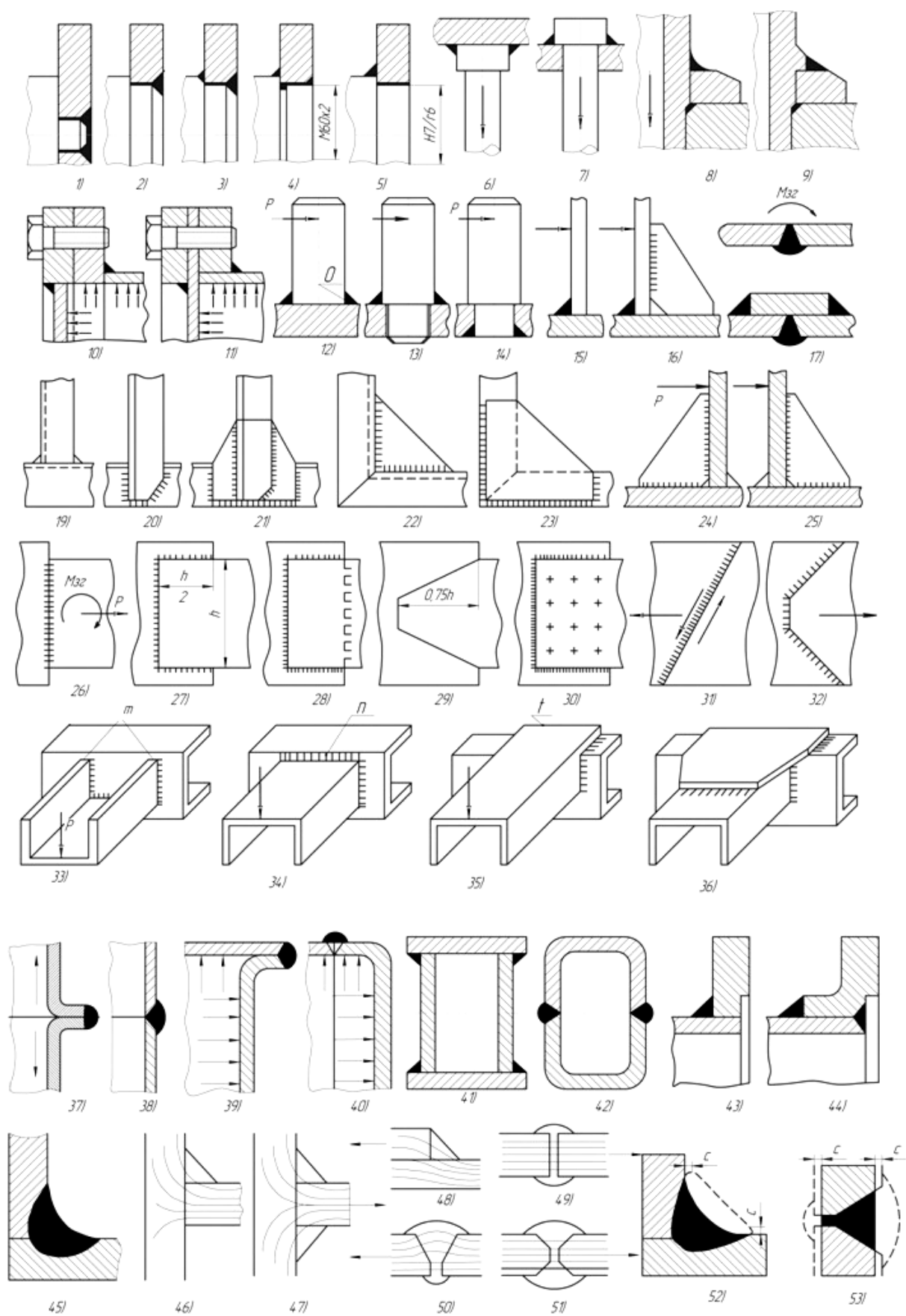


Рис. 5.7. Зміцнення зварних конструкцій

Шов стінки 15 розвантажений приварним ребром 16.

Вигин стикового шва 17 усувають введенням накладки 18, шви котрої працюють переважно на розтягування, а стиковий шов – на стискання.

Поліпшення стикового зварювання кутика показано на 19, 20, 21.

Косинці доцільно приварювати не встик, а з напустком – 23.

Приварні ребра (24, 25) повинні працювати на стискання, а не на розтягування, що розвантажує зварний шов.

На видах 26-29 показано послідовне зміцнення листового з'єднання, навантаженого розтягуючою силою P та згинальним $M_{изг}$ моментом. Міцність конструкції 28 вища від міцності конструкції 26 на розрив у 3 рази, а на вигин – у 5 разів.

Приварні листи, накладки, косинці і т.п. великої протяжності і малої товщини доцільно, крім обварки по контуру, з'єднувати з основною деталлю точковим зварюванням (30), щоб не було відставання при деформації системи.

Косі шви з'єднання з напустком (31) замінюють двостороннім скосом (32), у котрого шви розвантажені від зсуву.

На видах 33-36 показане послідовне поліпшення приварки швелера.

Слід уникати позацентрового прикладання сил, що викликає вигин шва (37, 39), і застосовувати міцні стикові шви (38-40), коли шов працює на розтягування.

Слід також уникати розміщення зварних швів у зоні великих напруг. Наприклад, у сталевих балках шви розміщують по нейтральній лінії (41, 42) з мінімальними напругами.

Слід також уникати розміщення зварних швів у зоні великих напруг. Наприклад, у сталевих балках шви розміщують по нейтральній лінії (41, 42) з мінімальними напругами.

У з'єднаннях, котрі піддаються циклічним та динамічним навантаженням, слід уникати розміщення зварного шва в зоні концентрації напруг (43, 44). Якщо вивести шов за межі ділянки концентрації напруг неможливо (45), то рекомендують угнуті шви з глибоким проплавленням, що досягається зварюванням короткою дугою.

Профіль шва повинен бути, по можливості, симетричним відносно дії навантаження (46, 47), з'єднання з напустком доцільно замінити з'єднанням в стик (48-51) з симетричним розчищенням кромek (не буде викривлення силового потоку та згинальних навантажень).

З технологічних методів зміцнення зварних швів відмітимо наступні.

Опір втомленості зварного шва можна значно підвищити механічною обробкою з наданням швові раціональної форми, що зменшує концентрацію напруг (52, 53) за рахунок створення плавних переходів без виступів.

Зміцнення швів пластичним деформуванням у холодному стані (обкатування, дробоструминний наклеп, карбування) дозволяє довести опір втомленості шва до міцності основного металу.

Правила конструювання технологічних зварних з'єднань

1. Необхідно забезпечити зручний підвід електрода до зварного шва (ЗШ), рис. 5.8.

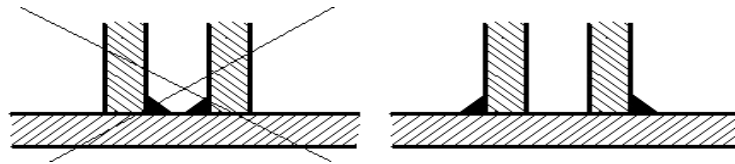


Рис. 5.8. Незручний та зручний підвід електрода до ЗШ

2. Застосовувати найбільш прості та продуктивні способи (рис. 5.9) зварювання (дугове зварювання кільцевим швом замінено контактним).

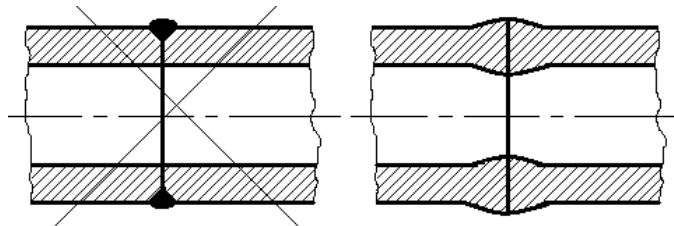


Рис. 5.9. Застосування простих та продуктивних способів зварювання

3. Уникати суміщення швів (рис. 5.10). Зводити до мінімуму кількість наплавленого металу (рис. 5.11).

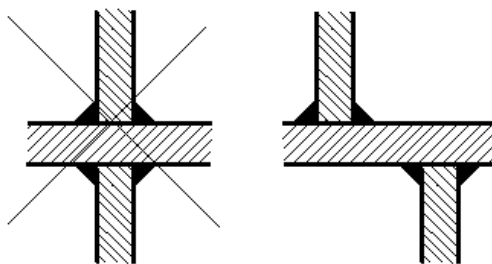


Рис. 5.10. Приварка ребер. Ребра розміщені в шаховому порядку

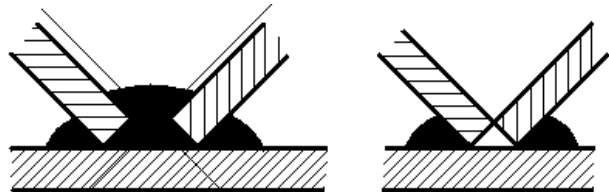


Рис. 5.11. Приварка похилих перегородок (зі зменшенням наплавленого металу)

4. Уникати зварювання масивних деталей з тонкими. Надавати зварюваним кромкам приблизно однакового перерізу (рис. 5.12).

5. Передбачати взаємну фіксацію з'єднуваних деталей з метою усунення зварних пристроїв (рис. 5.13)

6. Уникати трудомісткого розчищення кромки. Зварні шви утворювати шляхом зміщення зварюваних деталей (рис. 5.14).

7. Піддавати розчищенню кромки деталі, які найлегше оброблюються механічно (рис. 5.15).



Рис. 5.12. Зварювання деталей різної товщини

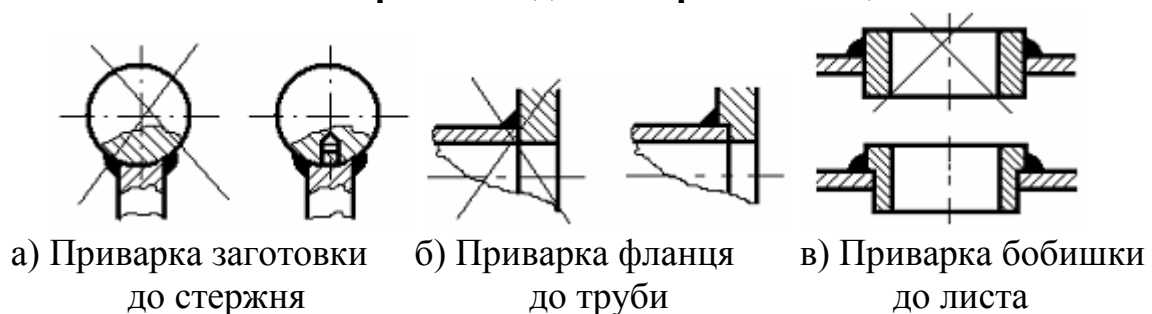


Рис. 5.13. Приклади взаємної фіксації зварюваних деталей

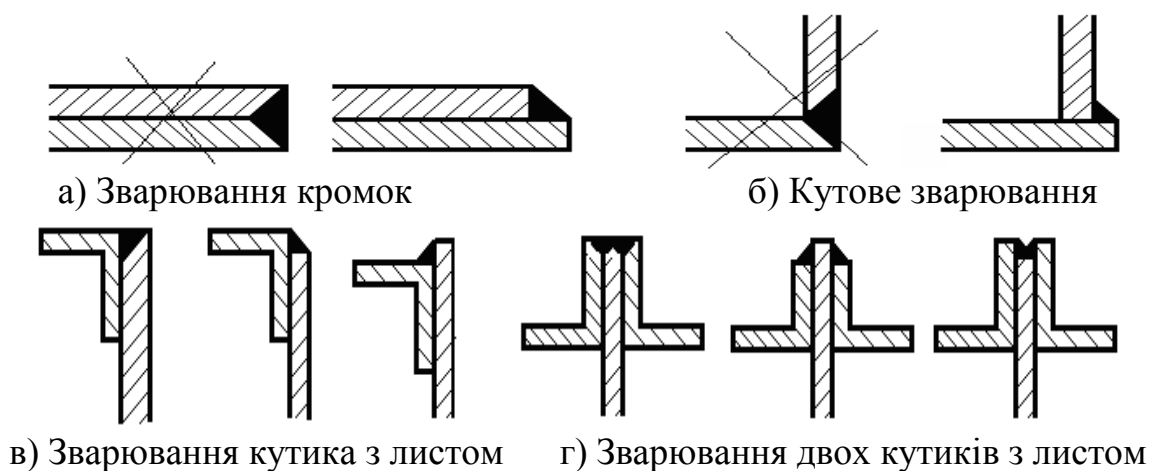
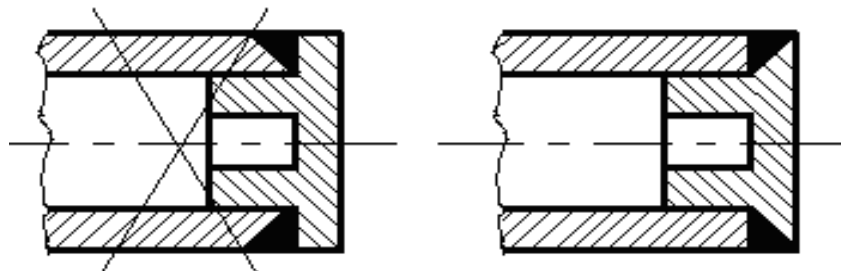


Рис. 5.14. Усунення розчищення кромки

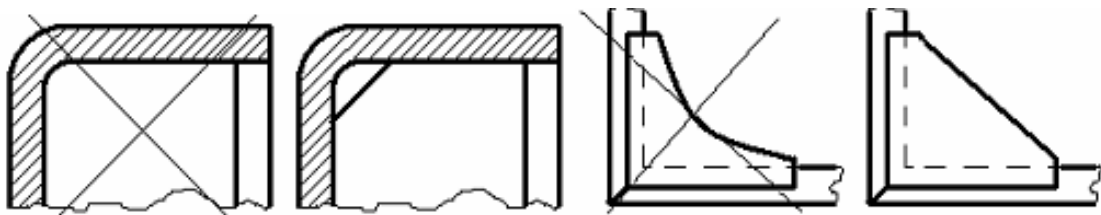


а) Розчищена труба

б) Розчищена заглушка

Рис. 5.15. Спрощення розчищення кромки

8. Не застосовувати підгонку заготовок по контуру з'єднання. Спрощувати форму заготовок (рис. 5.1.16).

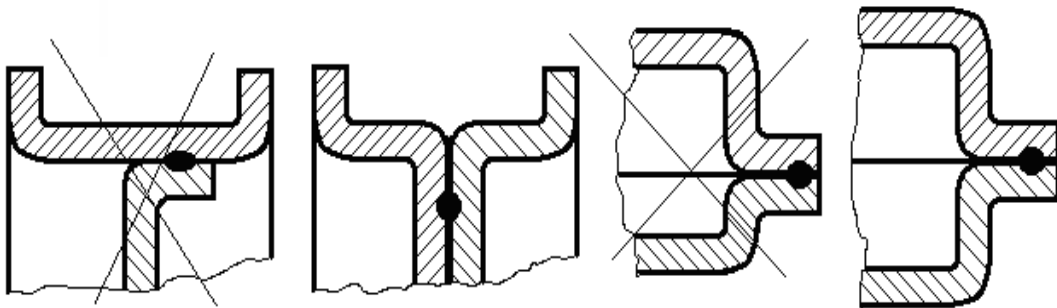


а) Приварка ребра до коритного профілю замінений

б) Фасонний косинець простішим

Рис. 5.16. Спрощення форми зварюваних деталей

9. Уніфікувати конструкцію зварюваних заготовок (рис. 5.1.17).



а) Зварний шків з двох різних деталей замінений на шків з двох однакових деталей

б) Зварний бак з двох різних деталей замінений на бак з двох однакових деталей

Рис. 5.17. Уніфікація зварюваних деталей

10. При зварюванні тонкостінних конструкцій ширше застосовувати гнуті та штамповані елементи, котрі підвищують жорсткість конструкції (рис. 5.18). При приварці полички збірна поличка (а) замінена гнутою (б).

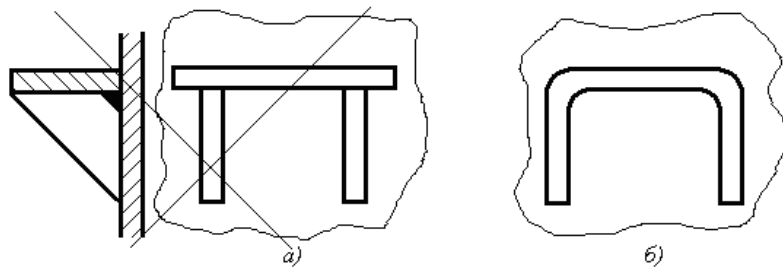


Рис. 5.18. Заміна окремих деталей суцільними гнутими

11. Попереджувати перепад та оплавлення тонких кромок у зоні зварного шва (рис. 5.19). При приварці ребра гострі кромки f та g зняті.

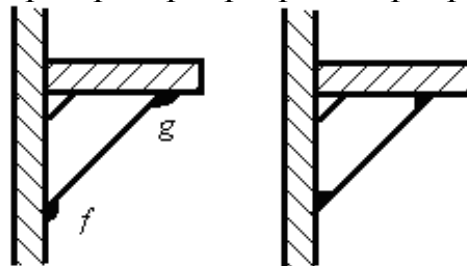


Рис. 5.19. Попередження оплавлення кромки

12. Віддаляти оброблені поверхні від зварної зони. Точні поверхні оброблювати після зварювання.

На рис. 5.20, б різьба віддалена від зварного шва на відстань l , достатню для запобігання оплавленню різьби. На рис. 5.1.20 г зварний шов віддалений від точно обробленої поверхні, а на рис. 5.1.20 д передбачений припуск на обробку після зварювання.

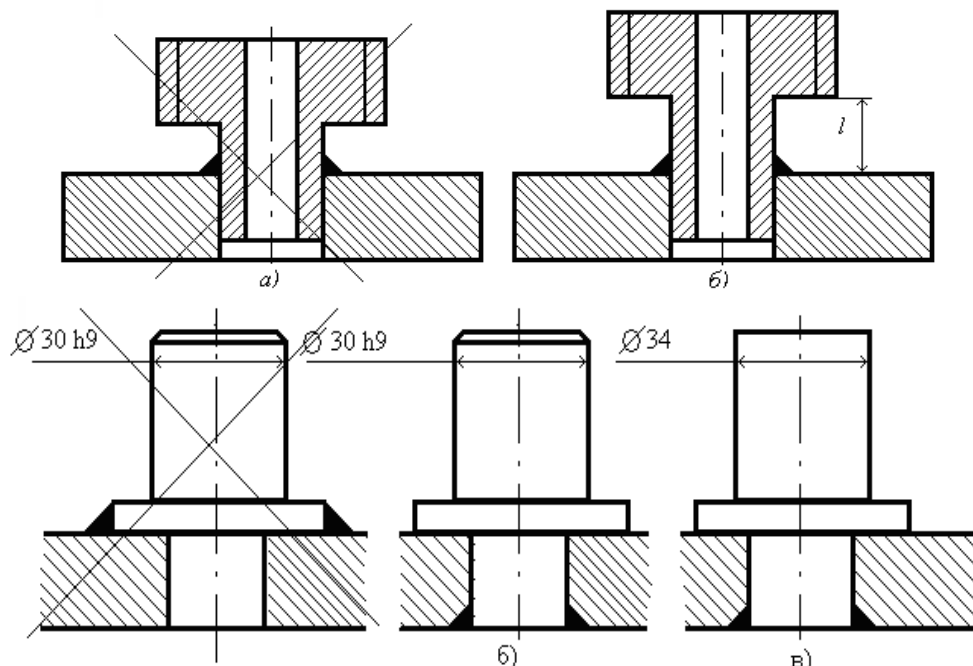


Рис. 5.20. Віддалення зварних швів від обробленої поверхні

13. При зварюванні замкнутих порожнин запобігати жолобленню тонких стінок у результаті утворення вакууму при остиганні.

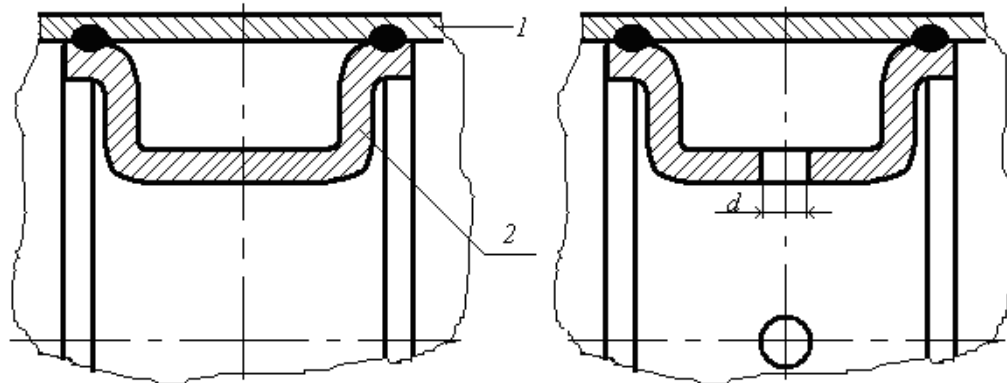


Рис. 5.21. Приварка кільцевого профілю

На рис. 5.21 показана приварка кільцевого профілю жорсткості 2 до обичайки 1. У профілі передбачений вентиляційний отвір d , що зменшує жолоблення деталі після остигання.

14. Не з'єднувати зварюванням деталі загартовані та піддані хіміко-термічній обробці (рис. 5.22).

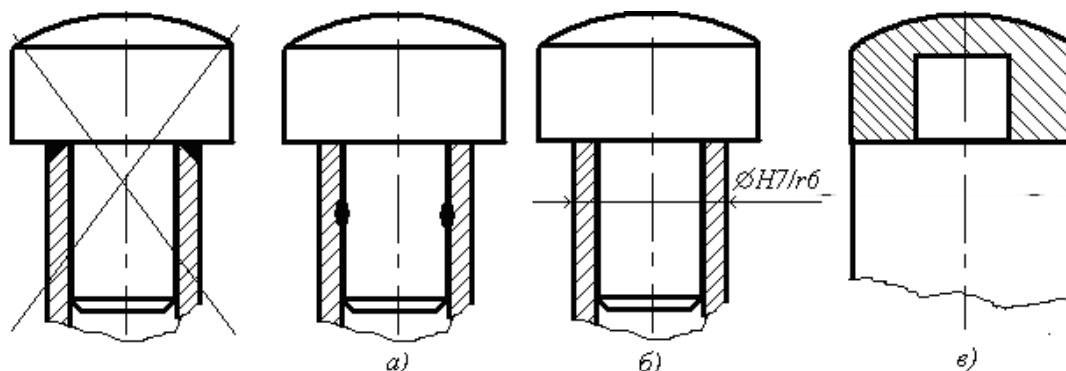


Рис. 5.22. Приєднання електрозаклепками (а), зварювання замінено запресуванням (б), головка наплавлена стелітом (в)

Вибір баз зварювання та проставляння розмірів на кресленнях зварних заготовок та конструкцій

У більшості випадків базою для складання та зварювання деталей в зварних конструкціях служать поверхні зварюваних деталей, тому розміри, котрі визначають положення таких деталей в складальній одиниці, слід проставляти від площини або кромки, за виключенням деталей, що мають форму тіл обертання, в котрих за одну з баз доцільно приймати вісь симетрії. За базову приймають деталь, котра має найбільшу поверхню або протяжність кромки та просту форму.

Усі установочні розміри повинні легко контролюватися простим мірним інструментом (лінійкою, штангенциркулем, шаблонами), тому

не раціонально проставляти розміри, що координують положення ребер, діафрагм і т.п. (а) від їх осей (неможливо буде проконтролювати).

Розміри слід проставляти від однієї деталі до другої розімкнутим ланцюгом (рис. 5.23, б).

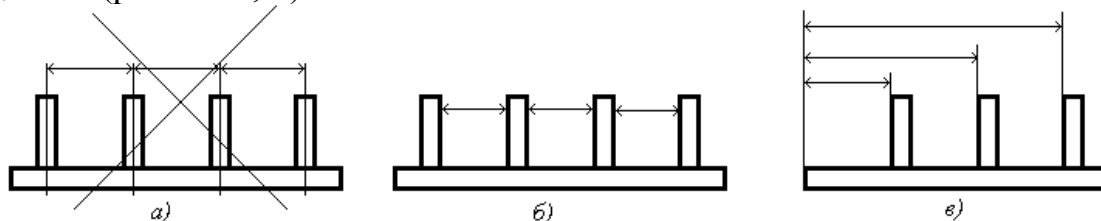


Рис. 5.23. Проставляння розмірів у зварних конструкціях

Коли ставлять розмір у конструкціях, які після зварювання піддаються механічній обробці, за вихідну базу доцільно приймати необроблювані поверхні, тому що взаємне положення елементів буде легко проконтролювати (в).

Необґрунтоване зменшення допусків знижує технологічність, тому що потребує виконання в елементів зварюваної заготовки точних установочних баз і застосування спеціальних пристроїв для установки та кріплення зварюваних деталей.

Для деталей з механічно необробленими кромками (поверхнями) допуск на розміри доцільно установити не меншим, ніж за 16 квалітетом з симетричним розміщенням поля допуску. При зварюванні деталей з механічно обробленими кромками допуски на розміри можна призначувати в межах 15 – 14 квалітетів.

Вибір термічної обробки після зварювання

Метою термічної обробки зварних швів та конструкцій є найбільш повне відновлення початкових властивостей металу навколошовних зон, надання металу та шву заданих властивостей, зменшення небезпеки утворення тріщин у навколошовній зоні, зменшення залишкових напруг та стабілізація форми.

Відновлення початкових властивостей металу в навколошовній зоні досягається відпалом, нормалізацією та гартуванням з відпуском. Це особливо необхідно для зварних заготовок з легованих сталей типу 40Х, 40ХН та сталей 40, 45.

Для поліпшення пластичних властивостей зварного шва і зменшення твердості металу в навколошовних зонах застосовують високий відпуск при температурі 650 – 700° С. Відпуск при більш низькій температурі менше знімає залишкові напруги, але вирівнює їх. При неможливості відпускання усієї конструкції застосовують місцевий нагрів або природне старіння на відкритій площадці до 30 діб та більше.

Просторові конструкції, що виготовляють з деталей товщиною 15 – 20 мм і більшою з механічною обробкою до 11 квалітету включно, слід піддавати високому відпускові.

Якщо зварні конструкції виготовлені зі сталі з вмістом вуглецю до 0,22 % і далі не піддаються точній механічній обробці, або остання відноситься тільки до спряжуваних поверхонь (кронштейни, стояки та інші), відпуск для знімання напруг можна не виконувати.

При статичних навантаженнях і роботі на розтягування твердість металу в навколошовній зоні може бути в межах 36 – 39 HRC, при роботі на вигин – до 24 – 31 HRC.

Зварні шви для сталей типу Ст3, 08, 10, 20 при товщині елементів до 8 мм, котрі працюють при динамічних навантаженнях короткий час, можна не піддавати відпуску, якщо твердість у навколошовній зоні не перевищує 27 HRC.

Необґрунтований вибір термічної обробки знижує економічні показники. Крім термічної обробки, що виконується після зварювання і передбачається при конструюванні, застосовують інші способи зменшення зварних деформацій:

- вибір послідовності зварювання при виконанні кожного шва окремо і усіх швів у конструкції;

- закріплення і зворотній вигин деталей перед зварюванням;

- створення напруг у деталях перед зварюванням;

- нагрівання зварюваних деталей;

- охолодження зварюваних деталей (допускається тільки для деталей з маловуглецевих сталей);

- випрямлення звареної складальної одиниці перед механічною обробкою;

- застосування зварних пристроїв.

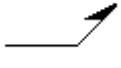
Умове зображення та позначення швів зварних з'єднань

Позначення швів зварних з'єднань виконують за ГОСТ 2.312 – 72.

Незалежно від способу зварювання зварні шви умовно показують на кресленні: видимий – суцільною основною лінією; невидимий – штриховою лінією.

Від показаного шва проводять лінію-виноску, що закінчується односторонньою стрілкою. При точковому зварюванні видимі одиничну точку показують знаком +, невидимі точки не показують. Для нестандартних швів показують розміри конструктивних елементів, необхідні для виконання шва за даним кресленням. Границі шва відмічають суцільними основними лініями, а конструктивні елементи

кромок у границях шва – суцільними тонкими лініями. Креслення зварних деталей оформляють як креслення основних складальних одиниць.

На поличці-виносці  проставляють позначення зварного шва, яке включає:

- 1 – позначення стандарту на типи та конструктивні елементи швів зварних з'єднань;
- 2 – буквено-цифрове позначення шва за стандартом;
- 3 – умовне позначення способу зварювання за стандартом (допускається не вказувати);
- 4 – знак $\triangle$ та розмір катета за стандартом;
- 5 – для переривчастого шва – довжину проварюваної ділянки та крок (діаметр зварної точки) та інше.

Приклад: ГОСТ 14806 – 80 T5 – Pn3 - $\triangle$ 6 – 50 Z 100.

Після допоміжних знаків, якщо вказана наступна механічна обробка шва, проставляють позначення параметра шорсткості оброблюваного шва тощо.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Суть процесу зварювання. Способи зварювання.
2. Зварюваність різних матеріалів.
3. Види зварних з'єднань (швів).
4. Міцність зварних швів та причини її зниження.
5. Шляхи підвищення міцності зварних швів.
6. Конструктивні та технологічні прийоми підвищення міцності зварних швів.
7. Основні правила конструювання технологічних зварних з'єднань.
8. Вибір баз під зварювання і проставлення розмірів на зварних конструкціях.
9. Вибір термічної обробки після зварювання.
10. Умовне зображення та позначення швів зварних з'єднань.

5.2. Заготовки, що виготовляються методом порошкової металургії

Загальні відомості

Порошкова металургія (або металокераміка) – це технологія виготовлення різних заготовок та деталей з порошків металів та сплавів шляхом компактування (коносадації) останніх. Методи виготовлення порошків розподіляються на хіміко-металургійні та механічні [110,111].

До хіміко-металургійних відносять наступні методи:

1. Відновлення – це дія воднем, вуглецем, генераторним або природним газом, кальцієм на окиси або відповідні солі (фтористі) при підвищеній температурі (700 – 1200° С). Цей метод застосовують для одержання порошків Fe, Co, Ni, W, Ti, Mo.

2. Термічна дисоціація – розкладання карбонілів при підвищеній температурі (300 – 400° С). Застосовують для отримання порошків Fe, Ni, Co та тугоплавких металів.

3. Гідрування-дегідрування – це дія воднем на металеву губку або відходи при температурі 600 – 650° С з утворенням гідриду і наступним розкладанням гідриду шляхом нагрівання до 750 – 800° С. Застосовують в основному для Ti.

4. Плазмове відновлення – це дія водневої плазми на пари хлоридів. Застосовують для отримання порошків Fe, Ni, Co, W, Mo та тугоплавких сполук.

5. Електроліз – пропускання постійного струму через розплави солей або мідний розчин металу; метал у вигляді порошку або крупного осаду осідає на катоді. Застосовують для отримання порошків Cu, Ti та інших металів.

До механічних методів отримання порошків відносять наступні:

1. Розмелювання – дроблення відходів (стружки, ливників та інш.) або гранульованого матеріалу в різних млинах (кульових, вихрових, газоструминних, вібраційних). Застосовують для порошків для вуглецевих та легованих сталей, жароміцних сплавів, бронзи, латуні та інших.

2. Розпилення розплаву – в спеціальних установках повітрям або нейтральним газом (аргон, гелій) через форсунку під тиском 0,6 – 0,8 МПа. Застосовують для будь-яких порошків та сплавів.

3. Розпилення електродів – розпиляють електрод з металу, порошок якого необхідно отримати. При цьому електрод обертають з частотою 15000 – 18000 хв⁻¹. Розпилення здійснюється гелієвою плазмою або електродугою. Застосовують для отримання порошків будь-яких металів, які можуть бути у вигляді електродів.

Сортування порошків за величиною зерна (гранулометричним складом) виконують просіюванням через сита та іншими способами. Розміри частинок порошку від 0,1...30 мкм до 40...400 мкм. Найширше застосовують порошки: залізні (ПЖ – А1, ПЖ – А2, ПЖ – Б, ПЖ – В), котрі відрізняються хімічним складом та розміром зерна; кобальтові (ПК – 1, ПК – 2); вольфрамовий; мідні (ПМ, ПМА); алюмінієві (ПАП – 1, ПАП – 2, ПАП – 3) та інші. Металеві порошки характеризуються хімічним складом, а так само фізичними та технологічними властивостями.

Основними технологічними властивостями порошків є текучість, спресованість та спікливість.

Текучість – це здатність порошку заповнювати форму. Вона зменшується зі зменшенням частинок порошку та підвищенням його вологості.

Пресованість - характеризує здатність порошку ущільнюватися під дією зовнішнього навантаження та міцністю зчеплення частинок після пресування. Пресованість залежить від пластичності матеріалу частинок, їх розмірів та форми і підвищується із введенням до його складу поверхнево-активних речовин.

Спикливість – це міцність зчеплення частинок у результаті термічної обробки пресованих заготовок.

Металокерамічні матеріали та вироби

Одна з особливостей одержання виробів з металокераміки – нагрівання основного матеріалу при спіканні до температури, що складає $\sim 2/3$ від температури плавлення. Це дозволяє без особливих хитрощів організовувати виробництво металевих виробів з високотемпературних матеріалів, не доводячи їх до температури плавлення.

Така технологія забезпечує наявність у деталях гарантованих пор, що вигідно використовується у деталях підшипників, котрі самі змащуються, направляючих, фільтрах і т.п.

Ще одна особливість – тому що заготовки отримують пресуванням та спіканням, то часто отримують готові за розмірами деталі, котрі не потребують додаткової механічної обробки, або незначної.

При спіканні порошкових заготовок практично виключається процес росту зерен та ліквідації, тому що частинки порошку представляють собою мініатюрні зливки. Ця обставина забезпечує ідеальні умови для отримання деталей з високою однорідністю структури і підвищеною міцністю. Міцність та пластичність порошкових матеріалів росте зі збільшенням їх щільності.

Звичайно механічні властивості виробів з чистих металевих порошків близькі до властивостей литих деталей. У деяких випадках вдається підібрати режими пресування і спікання, які забезпечують підвищену міцність виробів.

Типові конструкції деталей металокераміки (названо так тому, що ТП має багато спільного з виготовлення керамічних виробів) – корпуси підшипників та втулок, кільця, шестерні, кулачки, накладки, храповики, корпуси клапанів, трійники, державки різців, пластини з твердих сплавів та інші складні, переважно невеликі, деталі.

Через низькі механічні властивості пористих залізовуглецевих матеріалів були розроблені різні леговані спечені сталі. Для легування найширше застосовують мідь. При її вмісті до 2 % спостерігається помітна

усадка, а при введенні міді понад 5 % - ріст виробів. Вміст 2 – 5 % міді при наявності вуглецю практично не впливає на розміри при спіканні. Мідь підвищує міцність та твердість, знижує пластичність.

Легування нікелем зберігає міцність і підвищує ударну в'язкість, пластичність спеченого матеріалу. Тому, при наявності міді більше 5 %, за допомогою нікелю можна добитися нульової зміни розмірів й уникнути подальшої механічної обробки.

Можливість уникнути ліквації дозволяє отримувати інструментальні швидкорізальні сталі з особливими властивостями. Відсутність ліквації вуглецю дозволяє підвищити стійкість таких сталей у 2 – 3 рази.

З порошків отримують наступні вироби.

1. З антифрикційних матеріалів з пористістю 10 – 35 % (залізографітові та бронзографітові підшипники), яку заповнює мастило. Це забезпечує коефіцієнт тертя $\mu \approx 0,02 - 0,03$ і роботу без змащування протягом 2 – 3 років.

2. Вироби з фрикційних матеріалів у вигляді гальмівних накладок (мідна та залізна основа з добавками азбесту та карбідів тугоплавких матеріалів), що забезпечує $\mu \approx 0,4 - 0,6$ і працездатність при температурі 500 – 600° С.

3. З високопористих матеріалів з пористістю до 50 % виготовляють різні фільтри, особливо для тонкої очистки (мембранна технологія).

4. Особливо хочеться звернути увагу на металокерамічні тверді сплави для різальних інструментів. Їх основою є порошки карбідів тугоплавких металів (WC, TiC, TaC), а як зв'язку застосовують кобальт. Застосовують пластифікатори у вигляді парафіну та інші. Їх спікають при температурі 1200 – 1300° С, а після ще варять у вакуумі. Проте усадка при спіканні дуже велика 20 – 30 % і коливається у великих межах.

5. Порошковою металургією отримують також різальні інструменти з надтвердих матеріалів – алмазу, карбиду бору, а як зв'язку застосовують порошки міді, нікелю, олова та інші.

Як металеву зв'язку вибирають метали та сплави, котрі за жароміцністю близькі до жароміцності з'єднаних порошків. Вони не повинні утворювати хімічних з'єднань, бути малорозчинними в тугоплавких з'єднаннях, мати близькі значення коефіцієнтів лінійного розширення, теплопровідності та модуля пружності.

Технологія виготовлення заготовок з порошків

Приготування шихти. Очищені порошки подрібнюють у кульових млинах для вирівнювання зернистості і відпалюють у захисному або відновлюючому середовищі з метою знімання наклепу. Частинки

розділяють на фракції ситовим методом. При розмірі частинок до 50 мкм застосовують повітряне розділення.

Порошки змішують у вібраційних або барабанних змішувачах, у шихту додають 1 – 2 % гліцерину. Для підвищення текучості суміші проводять грануляцію шихти, додаючи до неї 0,3 – 0,6 % пластифікатора (парафін або синтетичний каучук, розчинений у бензині). Шихту дозують за масою або об'ємом.

Пресування. Виконують на гідравлічних або кривошипних пресах з пресуючим та виштовхуючим плунжерами. Зусилля пресування – 20 – 200 тс. Тиск пресування в залежності від заданої щільності виробу приймають 100 – 1000 МПа.

Пресування може бути одностороннім (воно найпростіше, для низьких виробів), двостороннім і складним (гідростатичне, вибухом та інше). При пересуванні дозування суміші може бути за масою (з високою точністю до 0,5 %) та за об'ємом (воно набагато гірше за точністю, але виконується швидше).

При пересуванні об'єм засипки зменшується у 2,5 – 4 рази. Для забезпечення відносної рівнощільності висота пресування не повинна перевищувати товщину стінок більше ніж у 15 разів, а діаметр пресування більше ніж у 4 рази. Проте, при двосторонньому пресуванні і зі змащуванням, у ряді випадків пресують більш високі вироби. Тиск пресування 100 – 1000 МПа, при цьому величина бокового тиску складає 25 – 30 % від тиску пресування (за виключенням гідростатичного). Тиск випресування складає 5 – 65 % від тиску пресування і залежить від висоти виробу і формувальних уклонів.

У результаті пружної післядії розміри виробу при витягуванні його з прес-форми збільшуються на $\sim 0,3$ % за діаметром і на $\sim 0,5$ % за висотою.

Зі збільшенням тиску міцність зростає. Зазвичай щільність пресованої заготовки не перевищує 60 – 70 % щільності суцільної заготовки.

Фактичний тиск пресування залежить від тертя суміші об стінки прес-форми, тобто від висоти, тому щільність запресованої заготовки не однакова по висоті. Тиск пресування залежить від необхідної щільності, розмірів, форми пресованої деталі, виду пресованого порошку та інших факторів. Використання вібраційного пресування дозволяє різко (у 50 – 100 разів) зменшити необхідний тиск.

Робочі (оформлюючі) елементи прес-форми (матриці та пуансони) виготовляють з конструкційних хромонікелевих сталей за 7 – 10 квалітетом точності і з шорсткістю поверхонь $Ra\ 1,25 \dots 0,32$ мкм. Висота

$$h = h_{ном} + \Delta h_{ус} - \Delta h_{пр},$$

де $h_{ном}$ - висота виробу, $\Delta h_{ус}$ – усадка при спіканні (від 15 до 30 %), $\Delta h_{пр}$ – пружне розширення.

Гаряче пресування. У МСВ та ССВ, коли допустима низька стійкість прес-форм (~ до 10 виробів) доцільно використовувати гаряче пресування, яке суміщують зі спіканням, котре проходить у 20 – 50 разів швидше, ніж при холодному пресуванні. Гаряче пресування забезпечує високу щільність виробів при більш низьких температурах спікання і тисках. При тиску до 15 МПа замість сталевих прес-форм застосовують графітові з графітових електродів марок ЭГ0, ЭГ1, ЭГ2 або з дрібнозернистого графіту.

Застосовують також динамічне гаряче пресування, гідростатичне пресування, електроімпульсне, вибухом, видавлюванням.

На рис. 5.24 наведено: а) – стандартна схема; б) – з примусової подачею шнеком; в) – зустрічна прокатка; г) – прокатка з підігрівом.

ГОСТ 10480-88 регламентує параметри, розміри та норми точності механічних автоматів для пресування виробів з порошків.

Спікання. При нагріванні порошкового тіла (пресовки) звітрюються гази, випаровується волога, відновлюються окиси, мають місце дифузійні поверхневі та об'ємні процеси. У результаті спікання (рис. 5.25) між частинками порошку розвиваються міцні металічні зв'язки і зменшуються розміри виробу внаслідок усадки.

Температура спікання повинна складати ~ 0,65 – 0,75 від температури плавлення основного компонента металокерамічної суміші. Видержка після досягнення максимальної температури спікання 30 – 80 хв. При збільшенні видержки щільність суттєво не підвищується.

Процес спікання ділять на три етапи:

I – нагрівання до 150° С – видалення вологи;

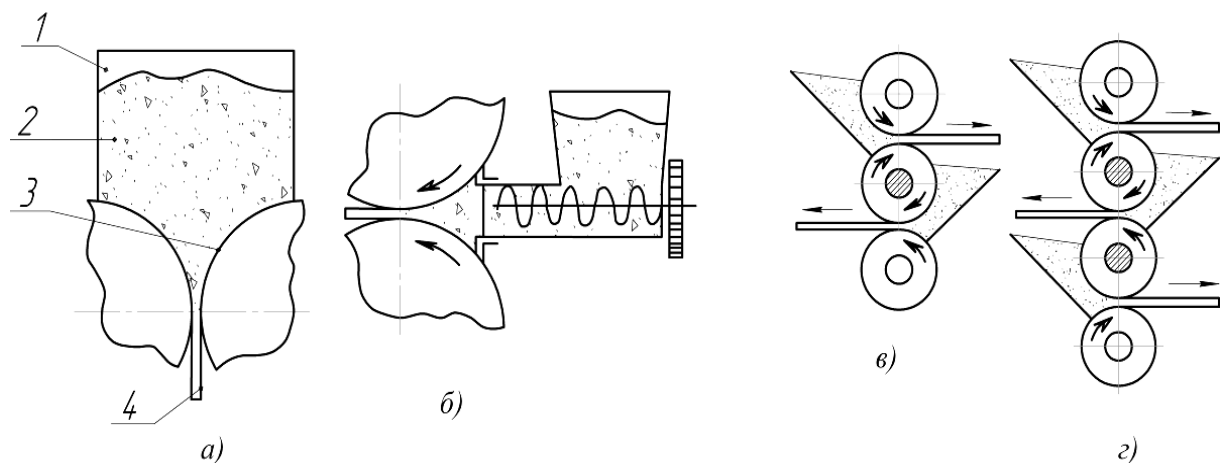


Рис. 5.24. Схеми процесу прокатки порошків:

а – стандартний варіант; б – з застосуванням примусової подачі шнеком (повернуто); в – зустрічна прокатка (заштриховані осі приводних валків);
 г – прокатка з підігрівом

II – нагрівання до температури, яка на 20 – 25 % менша від температури спікання, знімання пружних напруг і активне зчеплення частинок;

III – нагрівання до температури спікання в захисному або нейтральному середовищі – відновлення окисних плівок і остаточне зчеплення частинок;

Калібрування. Після пресування та спікання заготовки мають 11 – 13 квалітет точності розмірів.

Калібруванням при тиску 1000 МПа можна підвищити точність до 8 – 10 квалітету. Розміри калібрувальних форм відрізняються від номінальних розмірів деталі на величину пружної післядії ~ 0,11 – 0,12 %.

Після калібрування виріб можна оброблювати різанням, цементувати, наносити гальванопокриття. Різальний інструмент повинен бути дуже гострим (або абразивним), щоб не затягувати пори у виробах.

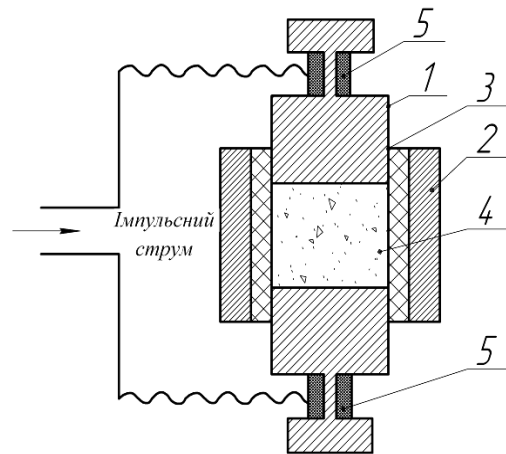


Рис. 5.25. Схема електроіскрового спікання:

1 – пуансони, які проводять струм; 2 – матриця; 3 – керамічна вставка; 4 – порошок; 5 – контакт

Розробка креслення заготовки з порошку

Розробка креслення готового виробу і проміжних формовок повинна проводитися з урахуванням специфічних вимог, властивих штампуванню порошкових форм. При проектуванні штампованої заготовки враховують форму готового виробу, можливість забезпечення рівномірної щільності в різних частинах заготовки, міцнісні можливості інструмента, зносостійкість.

Від положення прес-форми заготовки в штампі залежить форма формовки, і розміщувати формовку необхідно так, щоб при штампуванні забезпечити мінімальний робочий хід пуансона.

Необхідно урахувати, що при гарячому (та й при холодному) пресуванні неможливе отримання у виробі отворів малого діаметра, різьб, тонких стінок, глибоких отворів. Відношення висоти до діаметра заготовки (h / d) не повинно перевищувати 4. Мінімальна товщина стінки для циліндричних деталей не повинна бути меншою 1 мм, а для деталей інших типів – 1,5 мм. Радіуси закруглень (переходів) спряжуваних поверхонь не повинні бути меншими 0,2 мм.

При проектуванні деталей високої точності необхідно передбачити припуск на механічну обробку. Зовнішні та внутрішні різьби необхідно оброблювати різанням. У конструкціях деталей необхідно уникати

виступів, пазів та отворів, котрі розміщені перпендикулярно до осі пресування. Їх необхідно замінити елементами паралельних до напрямку пресування або оброблювати різанням.

Через значну усадку, що супроводжує пресування, в конструкціях деталей не можна допускати значної різностінності, що викликає жолоблення та утворення тріщин. Для видалення заготовок прес-форма повинна мати незначну конусність. Зворотна конусність недопустима.

Недивлячись на високу вартість порошків, висока продуктивність процесу, малі відходи, можливість отримання складних заготовок з певними властивостями роблять вигідним застосування заготовок з порошків, особливо у ВСВ та МВ.

Наприклад, печені порошкові кільця у 1,5 – 2 рази більш зносостійкі, ніж кільця з чавуну; їх вартість на 30 – 40 % нижча, металоємність менша.

Трудомісткість виготовлення печених шестерень знижується на 58 %, а вартість виготовлення – на 86 %. Різко підвищується коефіцієнт використання матеріалу – до 90 – 95 %.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Загальні відомості, область застосування, порошкової металургії.
2. Достоїнства та недоліки порошкової металургії.
3. Металокерамічні матеріали і вироби.
4. Технологія і можливості виготовлення деталей з порошків.
5. Розробка креслень деталей, виготовлюваних спіканням з порошків.

5.3. Виготовлення деталей та заготовок з пластмас

Пластмаси та їх властивості

Пластмасові деталі широко засосовують у машинобудуванні та приладобудуванні. Обсяг деталей з пластмас сягає ~ 15 % від загальної кількості деталей і постійно зростає. Такі деталі легкі, добре протистоять корозії, мають низький коефіцієнт тертя та підвищену зносостійкість, високі діелектричні властивості і достатню міцність, добре оброблюються різанням [58,110,111].

Разом з тим пластмаси, у порівнянні з металевими сплавами, мають занижені механічні властивості міцності, особливо контактної (допустимі контактні напруги сталевих деталей в 3-3,5 рази вищі ніж пластмасових), низьку твердість (НВ 10-30) і вузький температурний діапазон експлуатації (в основному 80-140° С, але не вище 200-250° С).

Вартість пластмас в ~ 3-85 разів перевищує вартість чорних металів. Деталі з пластмас найчастіше виготовляють за допомогою дорогих прес-форм, тому їх застосовують у МВ та ВСВ, рідше ССВ.

Пластмаси найчастіше застосовують для виготовлення мало-навантажених деталей складної форми: відносно невеликих корпусів, кришок, важелів, втулок, шестерень, підшипників, рукояток тощо. Для підвищення міцності на розрив, яка для більшості пластмас складає 50-100 МПа, вводять волокнисті, ткані та шаруваті наповнювачі, що підвищує границю міцності до 200-300 МПа, а склопластиків – до 400-500 МПа.

Застосовують дуже велику кількість різних пластмас. За поведінкою при нагріванні пластмаси розділяють на дві основні групи: термореактивні (реактопласти) та термопластичні (термопласти).

Реактопласти при нагріванні до певної температури розм'ягчуються до в'язкотекучого стану, а після, при підвищенні температури, перетворюються в неплавкі та нерозчинні необоротні речовини.

Термопласти, на відміну від реакто-пластів, при нагріванні та охолодженні здатні багаторазово переходити з твердого стану в рідкий і навпаки. Тобто вони змінюються оборотно.

У склад пластмас крім полімерів можуть входити мінеральні або органічні наповнювачі. Це можуть бути пластифікатори, стабілізатори, барвники, зміцнюючі речовини тощо.

Способи виготовлення деталей з пластмас

Застосовують два основні способи виготовлення деталей з пластмас – пресуванням та литтям. Пресовані та литі деталі мають точні розміри, в основному в межах 11-13 квалітету точності, з низькою шорсткістю поверхонь R_a 1,25-0,08 мкм. Такі вироби, як правило, є готовими деталями і не потребують подальшої обробки різанням.

Пресування застосовують для виготовлення фасонних виробів з реактопластів і твердіючих термопластів. Вихідним матеріалом служать таблетки, гранули, дрібняк, прес-порошки. Процес виконується в прес-формах (рис. 5.26), що складаються з матриці та пуансона і підігріваються до температури, яка забезпечує тверднення пластмаси.

Для пресування найчастіше застосовують гідравлічні преси з зусиллям 100-10000 кН (рис. 5.27). ГОСТ 8200-87 регламентує параметри, розміри та норми точності гідравлічних пресів для виготовлення виробів з пластмас. Режим формування виробу залежить від складу прес-матеріалу, розмірів та конфігурації виробу тощо. Звичайно температура попереднього підігріву 130-180° С, температура пресування 200-220° С, тиск пресування 10-30 МПа, тривалість видержки 15-30 с.

Застосування сучасних повністю автоматизованих багатопозиційних роторних пресових агрегатів дозволяє забезпечити продуктивність до 100 пресувань за хвилину. Конструкції прес-форм для прямого пресування показані на рис. 5.28 – 5.29.

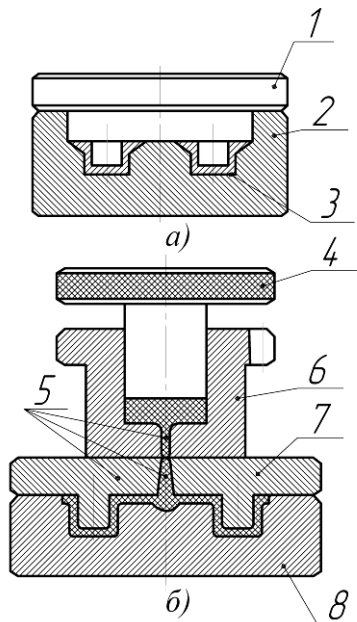


Рис. 5.26. Схеми прес-форм:

- а – прямого пресування; б – пресування литтям;
- 1, 4 – пуансони;
- 2, 8 – матриці; 3 – виріб;
- 5 – ливникові канали;
- 6 – завантажувальна камера;
- 7 – верхня плита

обробують і зачищають. Сучасні повністю автоматизовані ливарні машини з багатопозиційними формами забезпечують продуктивність до 200 виливків за хвилину.

Для усунення внутрішніх напруг і вирівнювання структури виробу піддають нормалізації: нагрівання без доступу повітря (звичайно в мінеральному маслі) до $140-160^{\circ}\text{C}$ протягом 1,5-2 г з наступним повільним охолодженням.

Крім пресування та лиття пластмас також застосовують екструзію, пневматичне, вакуумне та комбіноване формування.

Конструювання пластмасових деталей

Товщина стінок. При конструюванні пластмасових деталей важливим є забезпечення рівностінності. На рис. 5.31 (а, б) наведені приклади зменшення і вирівнювання товщини стінок. Нерівномірність товщини стінок і їх завишена величина приводять до збільшення видержки при пресуванні, виникнення внутрішніх напруг і жолоблення виробів. У товстих місцях утворюється повітряна і усадочна пористість.

Лиття під тиском (ЛТ) застосовують для виготовлення деталей з термопластів: полістирол, поліхлорвініл, поліформальдегід, поліетилен, капрон, поліамід, поліуретан тощо. Вихідний матеріал (гранули, таблетки) нагрівають до повного розм'ягчення і під тиском 100-150 МПа поршнем подається через ливникові канали в охолоджувані металеві форми. Після охолодження і твердіння прес-форма розкривається і виріб видаляється виштовхувачем.

Температура розм'ягчення ливарної маси залежить від її складу. Температура підігрітої прес-форми $40-80^{\circ}\text{C}$, охолодженої – $20-40^{\circ}\text{C}$.

Лиття під тиском продуктивніше від пресування і забезпечує високу якість виробів, можна отримати вироби з шорсткістю поверхонь $R_a\ 0,02-0,04\ \mu\text{m}$. Прес-форми для лиття під тиском показані на рис. 5.30. Для ЛТ застосовують термопластавтомат (рис. 5.31). Ливники та рубчики, які утворюються в площині рознімання форми,

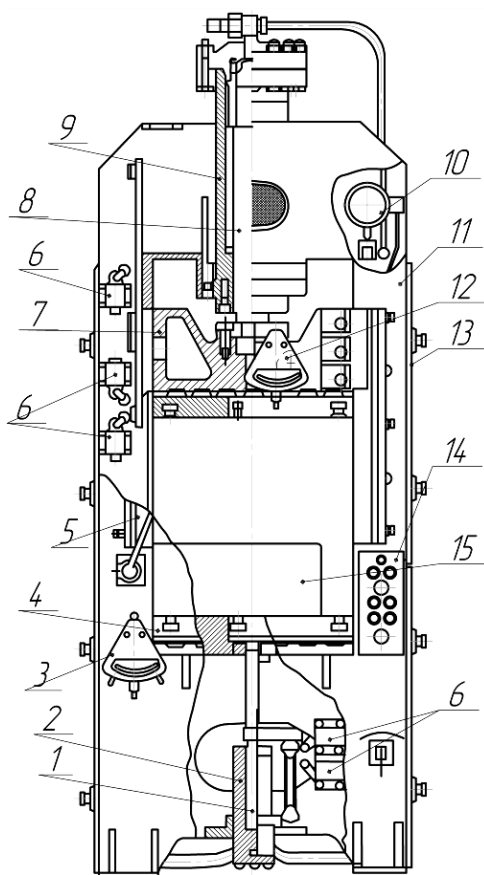


Рис. 5.27.

Напівавтоматичний прес для пресування деталей з пластмас:

1 – виштовхуючий плунжер;
2 – циліндр виштовхувача; 3, 12 – терморегулятори температури прес-форми; 4 – стіл;
5 – направляючі; 6 – кінцеві вимикачі; 7 – рухома плита;

8 – робочий плунжер;
9 – головний циліндр; 10 – манометр; 11 – зварна рама;

13 – кришка; 14 – пульт керування; 15 – гідравлічний привод

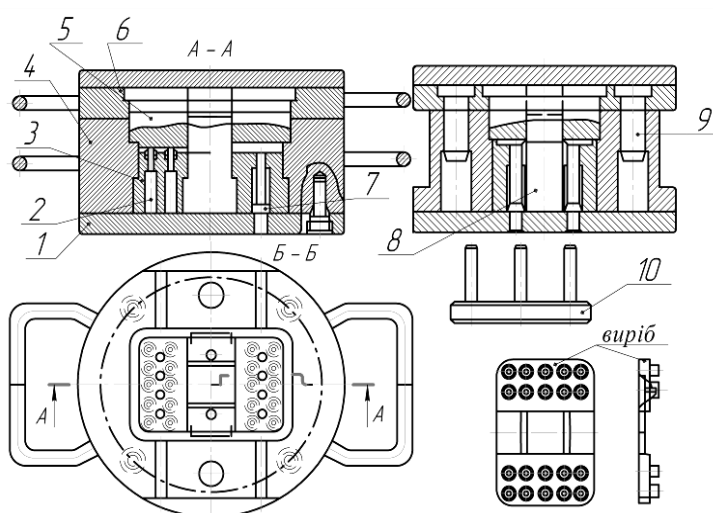


Рис. 5.28. Знімна прес-форма прямого пресування

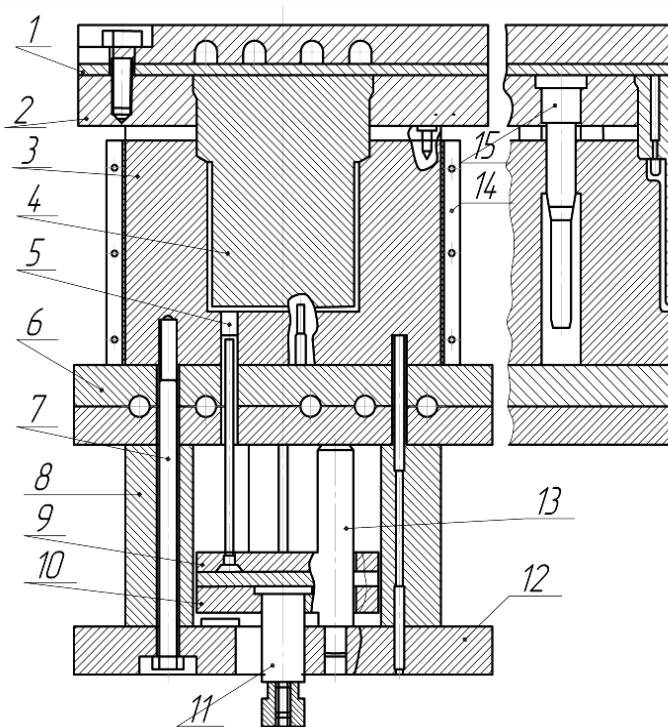


Рис. 5.29. Стационарна прес-форма прямого пресування

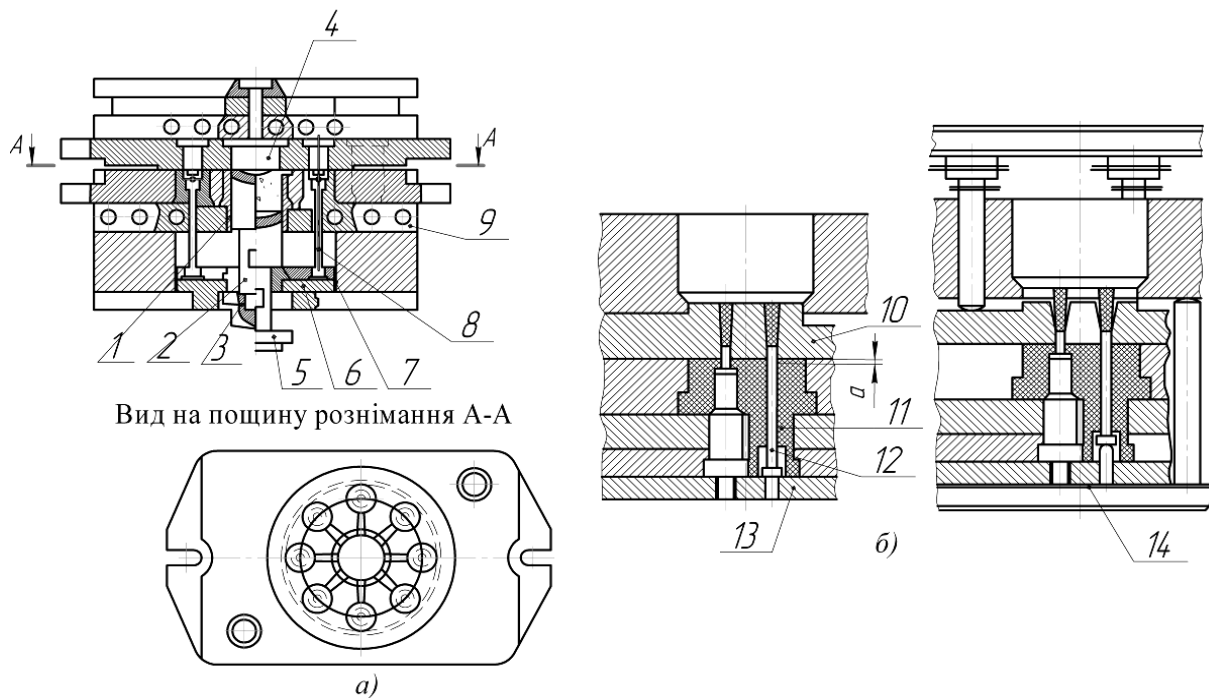


Рис. 5.30. Прес-форма для пресування литтям:
а – стаціонарна; б – знімна безоблойна

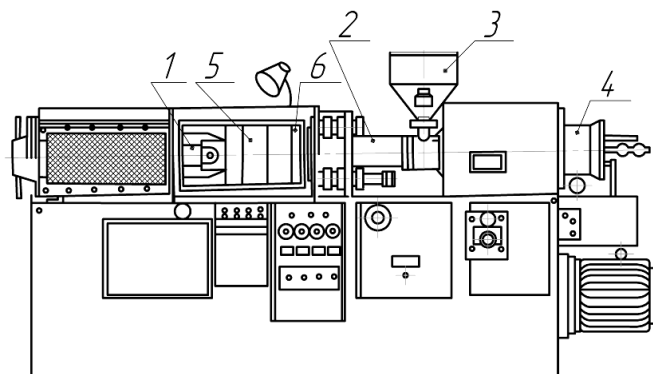


Рис. 5.31. Термопластавтомат Д-3328:
1 – механізм змикання прес-форми; 2 – циліндр для матеріалу;
3 – завантажувальний бункер; 4 – гідравлічний циліндр; 5 – рухома плита;
6 – нерухома плита

Рекомендовані товщини стінок наведені в табл. 5.1.

Міцність та жорсткість деталі рекомендується підвищувати за допомогою ребер жорсткості (рис. 5.31, в, г, д). Товщина ребер жорсткості не повинна перевищувати товщини δ стінки, вони не повинні гальмувати усадку виробу. Для цього ребра жорсткості виконують не замкненими, радіальними а не концентричними (рис. 5.32).

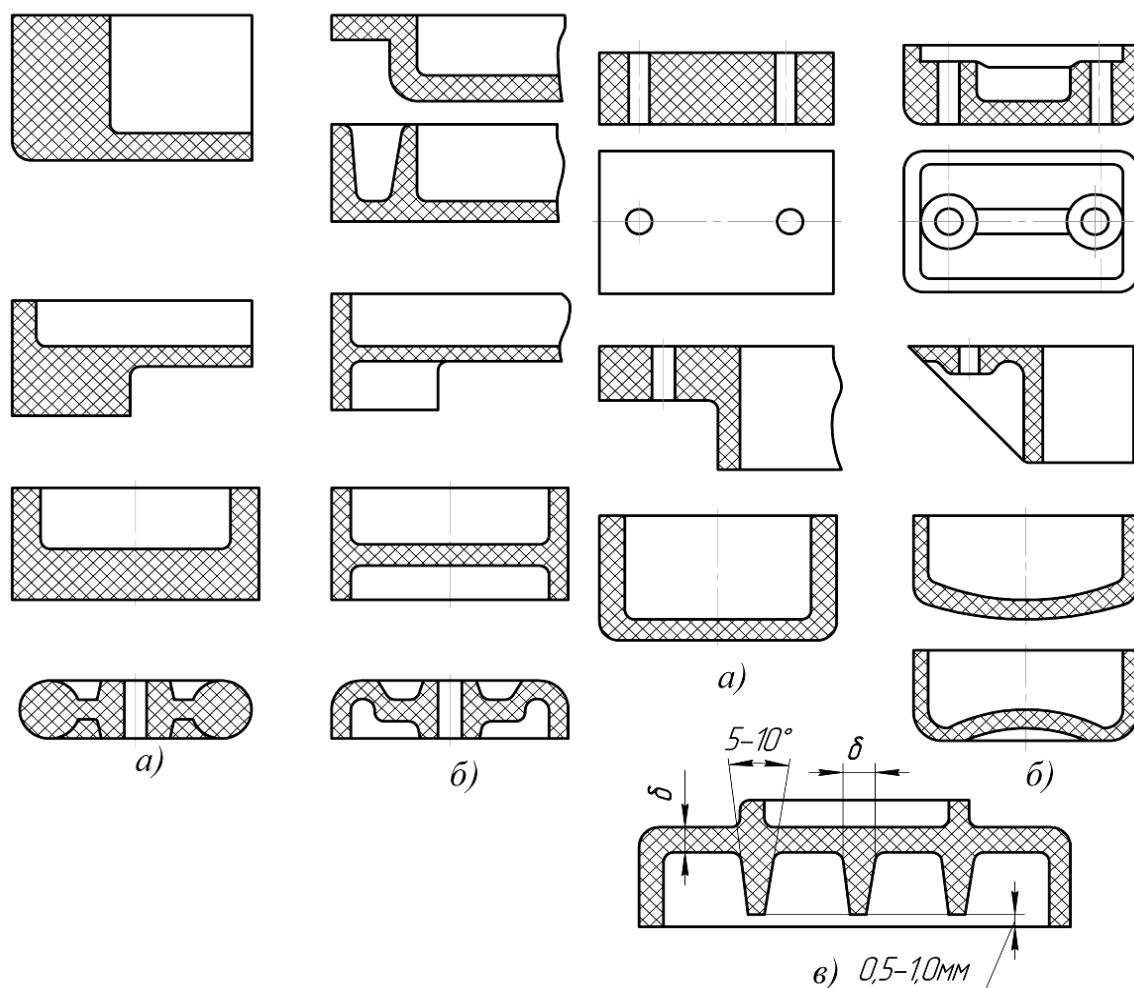


Рис. 5.32. Приклади усунення локальних потовщень та нерівностінності:

а) та б) – нетехнологічні і технологічні конструкції

Таблиця 5.1

Товщини стінок пластмасових деталей, мм

Матеріал	Габаритні розміри деталі, мм				
	До 20	20-50	50-100	100-250	Зв. 250
Прес-порошки:					
фенопласти	0,8-1,0	1,0-1,5	1,5-3,0	3,0-5,0	5,0-6,0
амінопласти	0,5-0,8	0,8-1,0	1,0-2,5	2,5-4,0	4,0-6,0
Волокнисті прес-					
матеріали	0,4-0,5	0,5-1,0	1,0-3,5	3,5-6,0	6,0-8,0
Термопласти	0,4-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-3,0

Наявність радіусів закруглень у місцях спряження поверхонь поліпшує заповнюваність прес-форми і підвищує її стійкість, зменшує концентрацію напруг в небезпечних місцях, що може викликати появу тріщин.

Рекомендується виконувати радіуси закруглень $R \geq 0,5 \delta$. Гострі кромки допускаються тільки на поверхнях рознімання прес-форм. Міцність корпусних деталей підвищується при плавному з'єднанні стінок (рис. 5.33).

На зовнішніх і внутрішніх поверхнях, перпендикулярних до площини рознімання прес-форми, передбачають технологічні уклони (рис. 5.34), які для зовнішніх поверхонь приймають $15'-1^\circ$, для внутрішніх – $30'-2^\circ$.

Оформлення поверхонь. На бокових поверхнях пластмасових деталей недопустимі піднутрення, бобишки та „затінені місця”, які перешкоджають розкриванню прес-форм (рис. 5.35, а, б). Їх усувають застосуванням технологічних конструкцій (рис. 5.35, в). Суцільні опорні поверхні рекомендується замінювати опорними площадками, буртами, ребрами тощо (рис. 5.36), що вирівнює товщину стінок, зменшує жолоблення, підвищує надійність контакту зі з'єднуваними деталями.

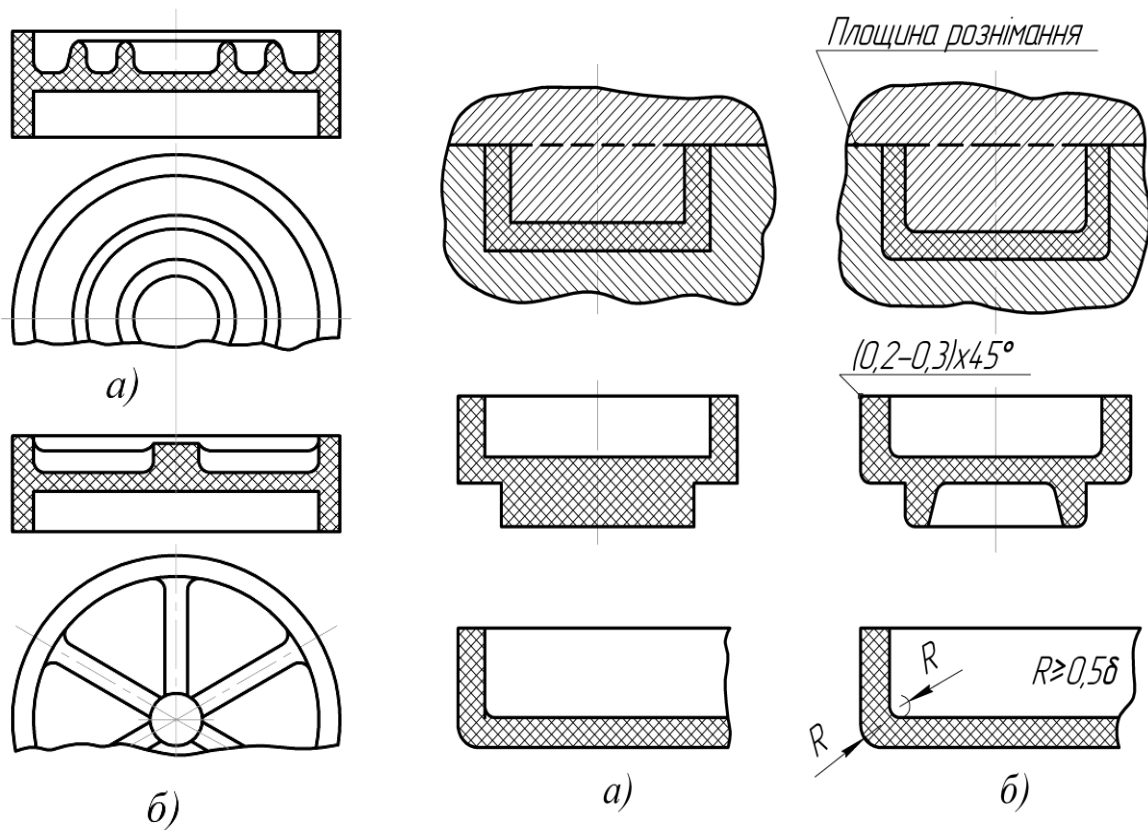


Рис. 5.32.
Концентричні (а) та
радіальні (б) ребра
жорсткості

Рис. 5.33. Приклади оформлення радіусів
закруглень:
а) нетехнологічні елементи конструкцій
б) технологічні елементи конструкцій

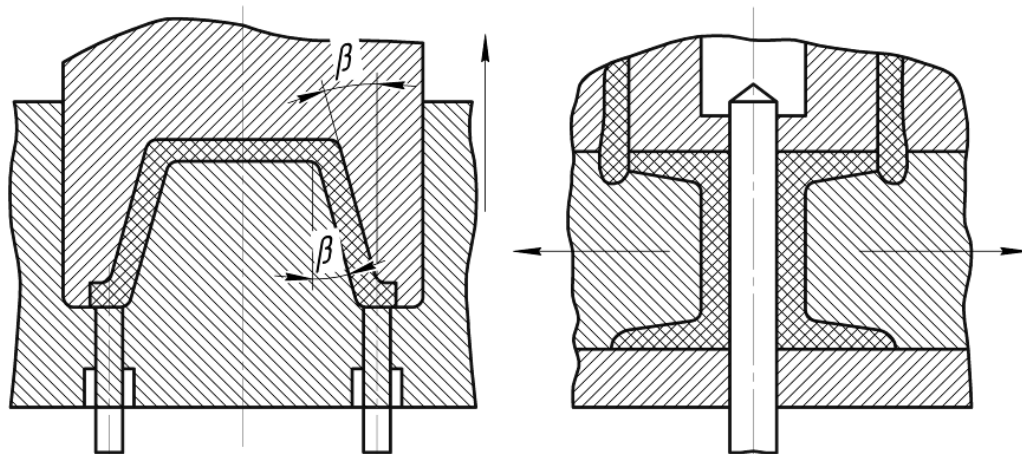


Рис. 5.34. Розміщення технологічних уклонів у залежності від напрямку рознімання прес-форми:

β – зовнішній уклон; β' – внутрішній уклон

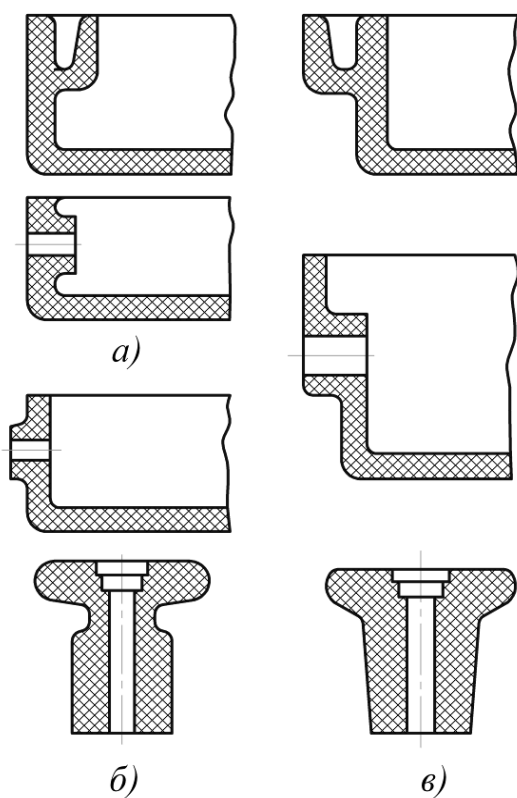


Рис. 5.35. Приклади ліквідації зовнішніх і внутрішніх піднутрень:

а, б – нетехнологічні елементи конструкції;
в – технологічні елементи конструкції

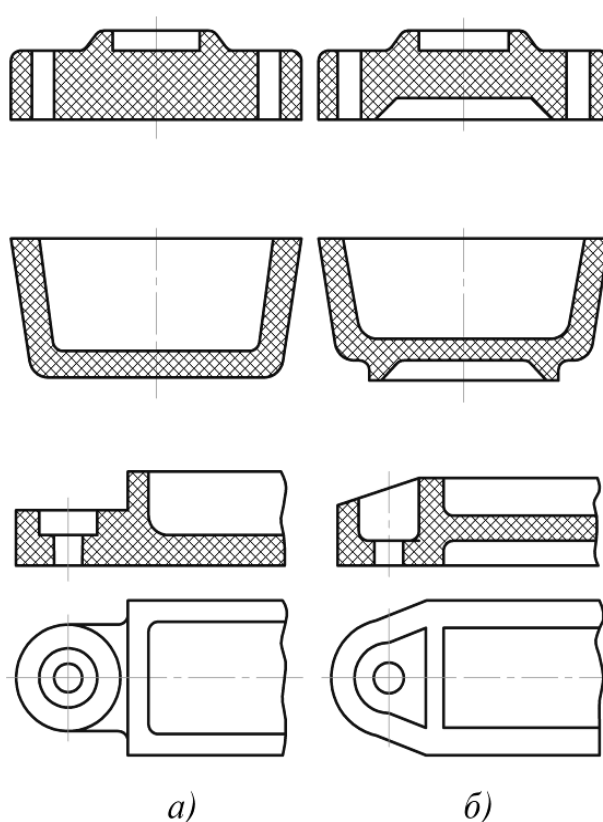


Рис. 5.36. Оформлення опорних поверхонь:

а) нетехнологічні елементи конструкції
б) технологічні елементи конструкції

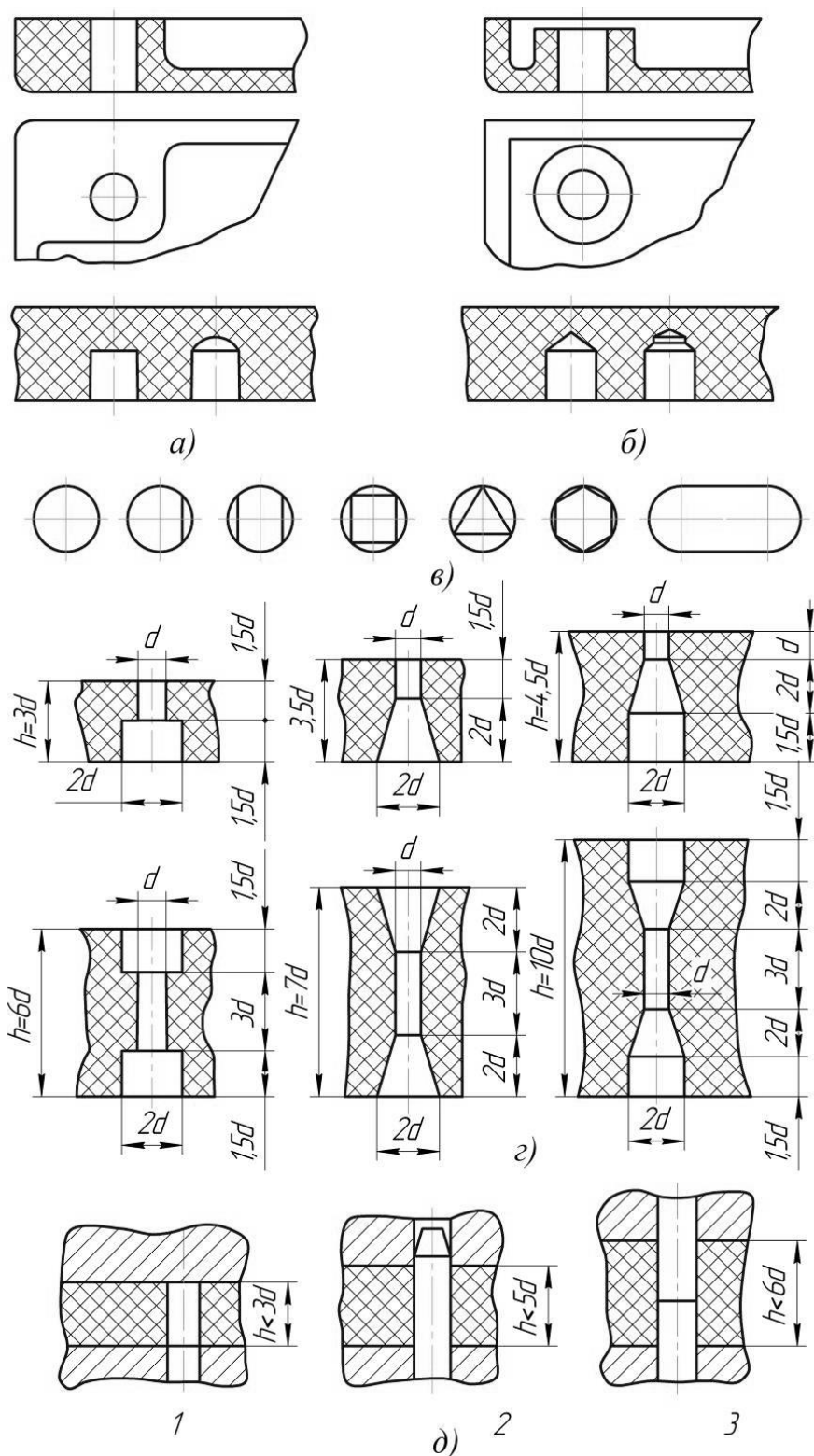


Рис. 5.37. Приклади розміщення і оформлення отворів:
а) та б) – нетехнологічні і технологічні конструкції; в – рекомендована конфігурація отворів; г – оформлення наскрізних ступінчастих отворів; д - оформлення наскрізних гладких отворів: 1 – односторонніх; 2 – з протяганням стержня; 3 – двосторонніх

З метою зменшення трудомісткості при зачищенні облою і спрощення конструкції прес-форми необхідно конструювати прес-форми з однією плоскою площиною рознімання. На поверхнях деталей можна виконувати випуклі надписи та рисунки висотою до 0,2 мм, що спрощує конструкцію прес-форми у порівнянні з застосуванням заглиблених надписів.

Отвори. Отвори в пластмасових деталях отримують за допомогою металевих стержнів, передбачених у конструкції прес-форм. Розміри отворів у пластмасових деталях призначають так же, як і для металевих виробів у відповідності з ГОСТ 6636-69.

Мінімальні діаметри d отворів змінюються від 0,5 мм для термопластичних мас до 2,5 мм для текстолітів при довжині h отвору до двох діаметрів. Граничні відношення h / d залежать від способу виготовлення деталі, наскрізного чи глухого отвору і змінюються від 1,2 до 5 для отворів $d = 3$ мм і від 1,5 до 10 для отворів $d = 10$ мм.

Отвори в пластмасових деталях не повинні розміщуватись близько до краю деталі і для отворів діаметром 2-30 мм вони повинні бути віддалені, відповідно, не менше ніж на 1-5 мм. Приклади виконання і розміщення наскрізних та глухих отворів наведені на рис. 5.37.

В отворах пластмасових деталей за допомогою різьбових стержнів можна виготовляти різьби з кроком не меншим 0,4 мм, при цьому для деталей з термопластів та волокнистих прес-матеріалів діаметром ≥ 2 мм, а для деталей з прес-порошків - ≥ 3 мм. Довжина різьби не повинна перевищувати двох діаметрів.

Армування. Армування суттєво підвищує міцність та область застосування пластмасових деталей. Найширше застосовують арматуру штифтову (гладкі та різьбові стержні, гвинти, шпильки), втулкову (гладкі, ступінчасті та різьбові втулки), плоску та дротяну (рис. 5.38). Для попередження виривання арматури і її провертання передбачають кільцеві виточки і накатування рифлень. Для елементів кріплення арматури рекомендують такі розміри: $H = D$; $a = b = 0,3 H$; $d_1 = 0,75 D$.

Для попередження затікання пластмаси накатку не доводять до торця поверхні на 1-1,5 мм. Надійне кріплення дротяної арматури забезпечується її розплющенням на довжині не меншій 3 мм або згинанням. Арматура не повинна бути масивною і не повинна розміщуватись близько до краю виробу (рис. 5.39). Мінімальна відстань від арматури до краю деталі для арматури діаметром 3-18 мм складає, відповідно, 2-7 мм.

Точність, шорсткість та припуски на обробку заготовок з пластмас

Точність пластмасових деталей суттєво залежить від усадки матеріалу, стабільності його розмірів, конструкції та точності виготовлення прес-форми, формувальних уклонів, технологічних параметрів пресування

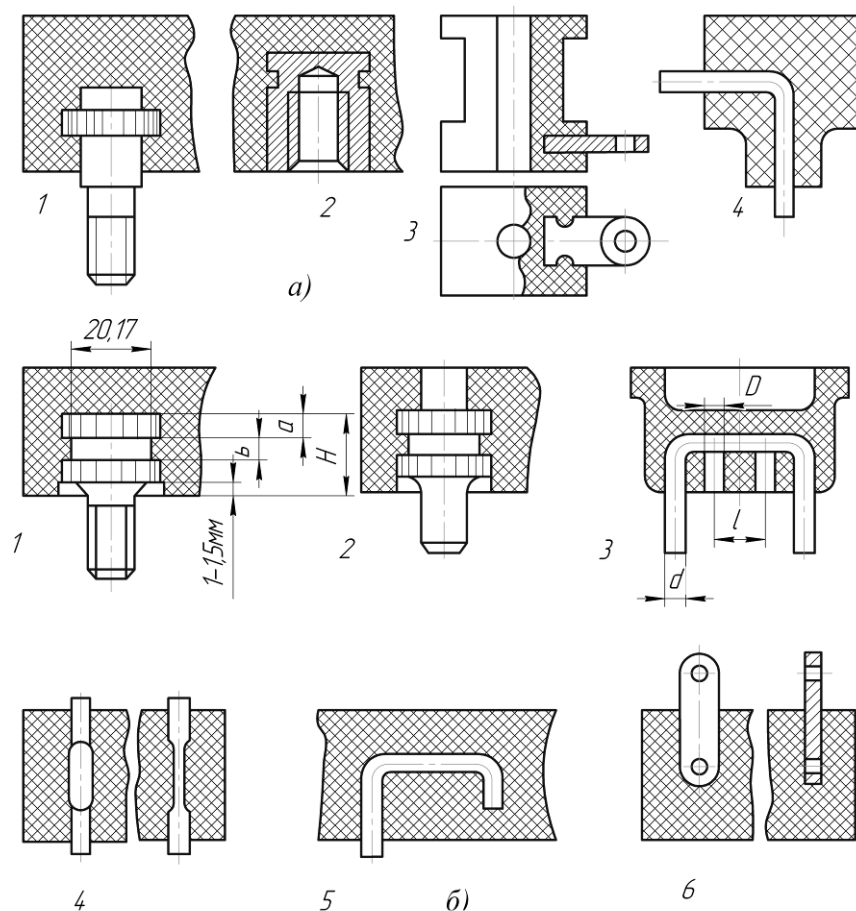


Рис. 5.38. Арматура та способи її закріплення:

а – типи арматури: 1 – штифтова; 2 – типу втулок; 3 – плоска; 4 – дротяна;
 б – кріплення арматури: 1 – накатка і кільцева виточка; 2 і 3 – фіксація штифтової та дротяної арматури через технологічні отвори; 4 і 5 – розплющування та загинання дротяної арматури; 6 – кріплення пелюсток

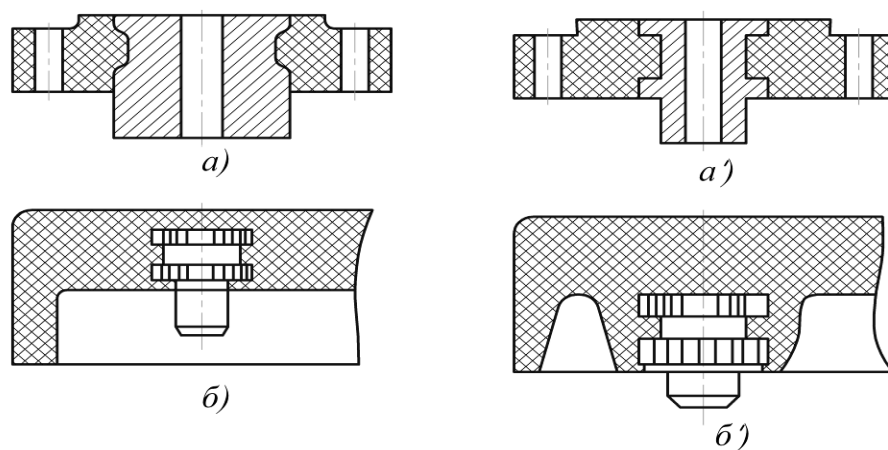


Рис. 5.39. Розміщення арматури:

а, б – нетехнологічні конструкції; а', б' – технологічні конструкції

тощо. У залежності від цих факторів, точність розмірів елементів деталі, які формуються в одній частині форми, може знаходитись у межах 7-17 квалітету. Найвищу точність можна отримати при формуванні невеликих деталей з пластмас з малою усадкою (до 0,1 %), які пресуються повністю в одній частині прес-форми.

Шорсткість поверхонь пластмасових деталей залежить від якості обробки полірованих поверхонь прес-форми, властивостей пластмаси та технологічних режимів пресування. Шорсткість поверхонь пластмасових деталей, виготовлених пресуванням або литтям під тиском, відповідає R_a 0,32 ... 1,25 мкм, а в окремих випадках – R_a 0,32 ... 0,08 мкм.

Іноді пластмасові заготовки додатково оброблюють різанням для забезпечення необхідної точності, знімання облою тощо. При механічній обробці різанням якість поверхні погіршується до R_a 40 ... 20 мкм. Ряд пластмас включають абразивні наповнювачі, що негативно впливає на стійкість різального інструменту. Тому пластмаси обробляють твердосплавним або абразивним інструментом, рідше застосовують інструмент з швидкорізальних сталей. Різальний інструмент повинен бути гостро заточеним, особливо при обробці пластмас волокнистих та з тканими наповнювачами.

Орієнтовні значення припусків на обробку залежать від виду матеріалу, розмірів оброблюваної поверхні, точності обробки і для різних матеріалів можуть знаходитись в межах: при точінні – 0,1 ... 2,5 мм; при фрезеруванні – 1 ... 4 мм; при шліфуванні – 0,4 ... 0,5 мм

Контрольні питання для самоперевірки

1. Пластмаси та їх властивості.
2. Способи виготовлення деталей з пластмас.
3. Конструювання пластмасових деталей.
4. Вимоги до отворів в пластмасових деталях.
5. Точність, шорсткість поверхонь та припуски на обробку різанням заготовок з пластмас.

5.4. Заготовки з прокату

Види прокату

Прутки круглого та квадратного перерізів найчастіше застосовують в ОВ та МСВ для виготовлення валів, тяг, важелів, а також, як вихідні заготовки для дальшої обробки штампуванням у МВ та ССВ; листовий прокат, кутики, швелери – для виготовлення ємностей та інших конструкцій тощо. Але при виготовленні гладких валів та деталей з невеликим перепадом розмірів поперечних перерізів по довжині, а також

при обробці на токарних верстатах-автоматах, прутки теж застосовують у МВ та ВСВ.

Наша промисловість випускає сталевий круглий гарячекатаний прокат $\varnothing 5 \dots 200$ мм (сортамент, ГОСТ 2590-71), прокат квадратного перерізу з стороною квадрата $5 \dots 100$ мм (сортамент, ГОСТ 2591-71), шестигранний прокат з розміром під ключ $5 \dots 75$ мм (сортамент, ГОСТ 8560-67), товстостінні гарячекатані безшовні труби $\varnothing 25 \dots 530$ мм (сортамент, ГОСТ 8732-70), штабовий прокат, листовий прокат, прокат кутикового, таврового і двотаврового перерізу, прокат інших складних профілів. Металургійна промисловість також випускає періодичний прокат, тобто гарячекатані прутки з різною формою поперечного перерізу по довжині.

Виправлення прокату

Перед розрізуванням прокату на мірні заготовки його, при необхідності, виправляють. Листовий прокат виправляють на багатовалкових листопрямильних вальцах, які мають два ряди валків, розміщених у шахматному порядку (рис. 5.40, а). Після пропускання листа між валками

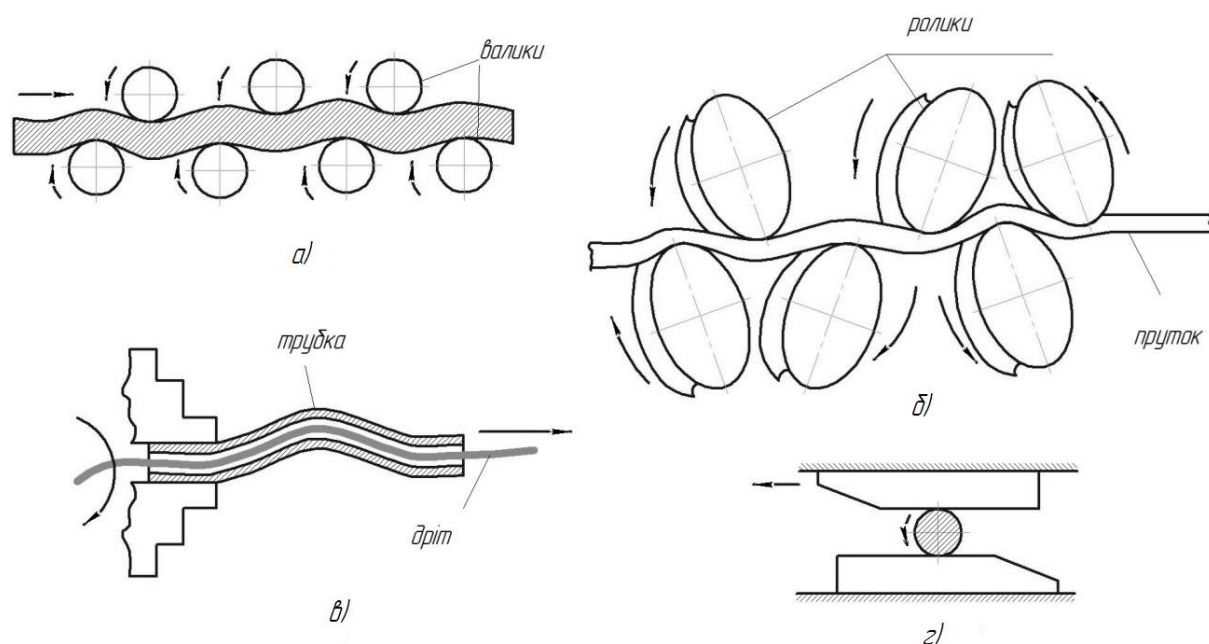


Рис. 5.40. Схеми виправлення прокату

стріла його прогину не перевищує 1-2 мм на одному метрі довжини.

Прутки круглого перерізу виправляють на багатороликових правильних машинах з угнутими роликами (рис. 5.40, б). При цьому стріла прогину складає 0,5-0,9 мм на один метр довжини.

Для виправлення бухтового матеріалу (дроту) застосовують роторні правильно-відрізні машини, у яких дріт разом з бухтою обертається навколо поздовжньої осі.

Іноді дріт малого діаметра (до 5 мм) виправляють на токарних верстатах протягуванням через вигнуту трубку, яка обертається (рис. 5.40, в).

Відрізані заготовки довжиною до 200 мм виправляють прокатуванням плоскими плашками на плосконакатних верстатах (рис. 5.40, г).

Розрізування прокату

Розрізування на токарних та токарно-відрізних верстатах (рис. 5.41, а) дозволяє отримати мірні заготовки, тобто заготовки певної, досить точної довжини.

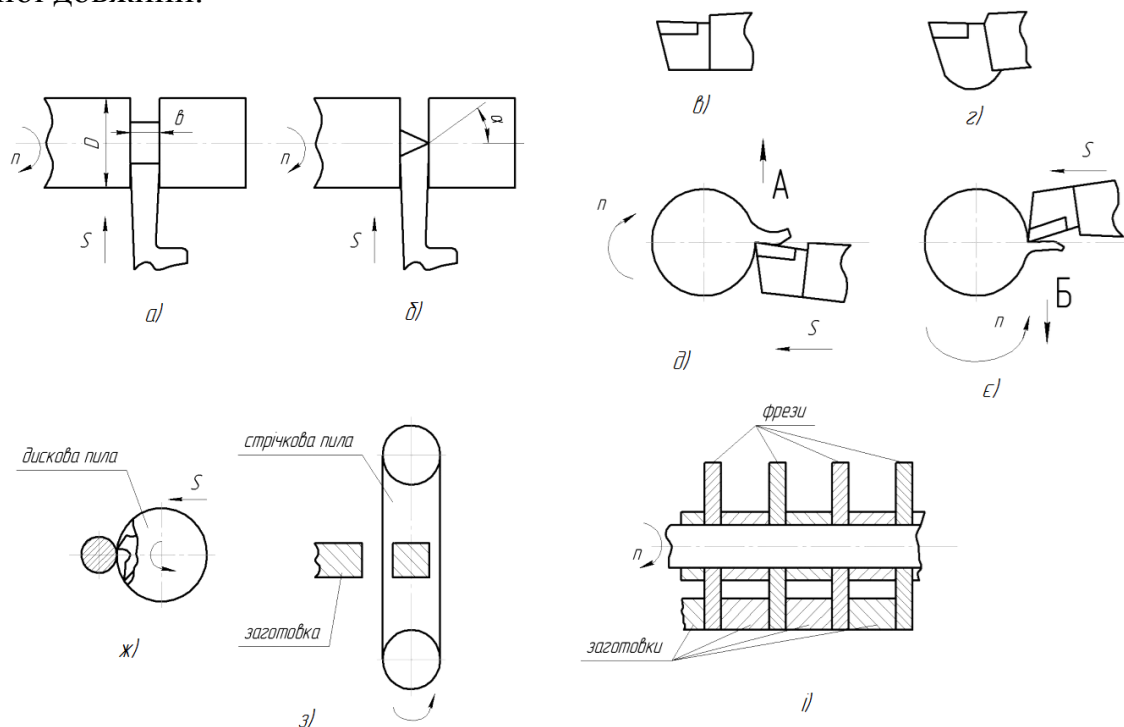


Рис.5.41. Схеми розрізування прутків

Воно забезпечує високу якість торця і його перпендикулярність до осі виробу. До недоліків можна віднести те, що відрізування до кінця виконати неможливо, бо в кінці різання заготовка відламується разом з “хвостиком”, що потребує вводити додаткову операцію підрізування торця. Щоб обійтись без підрізування торця різальну кромку відрізного різця заточують під $\angle \alpha$ (рис. 5.41, б). Розрізування на токарних верстатах відрізняється низькою продуктивністю, тому що, звичайно, ширина різця $b = 0,6\sqrt{D}$, різець нежорсткий і подача невелика $S_o = (0,1 - 0,05)b$.

Для підвищення жорсткості різців і збільшення подачі застосовують зміцнені (півникові) різці (рис. 5.41, г). Крім того, іноді відрізування виконують при зворотному обертанні шпинделя (рис. 5.41, є), коли сила P_z притискає шпиндель до підшипників і вібрації зменшуються.

Розрізування дисковими пилами на відрізних верстатах (рис. 5.41, ж). Це високопродуктивний спосіб і можна розрізувати прокат великого діаметра, але він має такі недоліки: велика ширина різку 8-12мм, перекося торця може сягати 2мм на діаметрі 100мм, неможливо отримати точну довжину заготовки, дорогий інструмент.

Розрізування приводними механічними ножівками. Це дуже простий спосіб і дешевий інструмент, забезпечує малу ширину різку 1,5-2,5 мм. Його недоліки: низька продуктивність через нежорсткий інструмент і наявність холостих ходів, неможливо отримати мірні заготовки, потрібне додаткове торцювання через низьку якість зрізу. Для підвищення продуктивності декілька прутків одночасно закріплюють в лещатах з призматичними губками.

Розрізування на стрічкових пилах (рис. 5.41, з). Воно останнім часом усе ширше застосовується замість розрізування дисковими пилами та механічними ножівками. Розрізування стрічковими пилами більш продуктивне ніж приводними ножівками через відсутність холостих ходів і більшу швидкість різання. Воно забезпечує вищу точність і низьку шорсткість поверхні різку, малу ширину пропилу - до 1мм, можна вирізати заготовки складного контуру, можна розрізати прокат під різними кутами нахилу різку, але через невисоку жорсткість інструмента неможливо застосувати великі подачі на зуб.

Найчастіше стрічковими пилами розрізають листи з кольорових сплавів, пластмас. Останнім часом стрічкові пили застосовують для розрізування сталевих заготовок. Сучасні верстати забезпечують розрізування прокату діаметром до 330 мм, швидкість розрізування сталей складає 20-90 м/хв, а кольорових сплавів – до 120-500 м/хв, товщина стрічкової пили 0,65-0,9 мм. Стрічкові пили також широко застосовують для відрізування ливників та додатків у виливків з кольорових сплавів та сталей.

Розрізування прокату дисковими фрезами на фрезерних верстатах, коли на оправці горизонтально-фрезерного верстата установлюють декілька фрез (рис. 5.41, і). Цей спосіб забезпечує високу продуктивність, високу якість поверхні різку, що не потребує подальшої обробки, високу точність заготовок, малу ширину різку (2мм). Але потребує дорогого обладнання, інструменту та високої кваліфікації верстатника.

Розрізування металу гладкими фрикційними пилами-дисками товщиною 2-3 мм і діаметром 1-1,8 м, що обертаються з коловою

швидкістю 120-150 м/с. Воно базується на тому, що в зоні контакту пили і заготовки температура заготовки внаслідок тертя підвищується до 1200° С. При цьому матеріал заготовки розм'ягчується і виноситься із зони різання у вигляді снопу іскор. Диски виготовляють з м'якої сталі або міді. Внаслідок нетривалого контакту із заготовкою диски не сильно нагріваються і мало зношуються.

Цей спосіб відрізняється простотою, можна розрізати дуже тверді сталі, дуже висока продуктивність (наприклад, двотаврова балка висотою 450 мм розрізається за 55 с). Але через дуже неякісну оплавлену поверхню різку і низьку точність застосовується, в основному, в металургії.

Розрізування металу абразивними дисками на вулканітовій зв'язці товщиною 1-4 мм, діаметром 200-400 мм, при швидкості різання 60-80 м/с. Відрізняється високою продуктивністю і можна розрізати заготовки з загартованих сталей. Недоліки: низька якість різки (можуть утворитися припали), висока вартість інструмента і низька його стійкість. Застосовується в інструментальному виробництві для відрізування заготовок свердел, мітчиків тощо.

Розрізування на приводних (гільотинних) ножицях і пресах застосовують для розрізування листового матеріалу товщиною до 40 мм і шириною до 3 м, а на пресах розрізають прутки діаметром до 150 мм (з підігрівом до 600-700° С) за виключенням порожнистих заготовок. Достоїнства: простота і дуже висока продуктивність. Недоліки: низька якість поверхні різки внаслідок зминання поверхонь заготовок і утворення задирок, низька точність – 1-2мм. Для поліпшення якості різки застосовують плити з фасонними отворами.

Газове (кисневе) різання металів застосовується переважно для розрізування сталевих листового прокату, прутків, відрізування ливників і додатків у сталевих виливків тощо. Спосіб відрізняється високою продуктивністю, можна розрізати сталеві листи товщиною до 150 мм, можна виконувати фасонне розрізування листів та вирізування заготовок з складними контурами, у тому числі і на установках типу „Кристал” з ЧПК, розроблених у НДІ ЕЗ ім. Патона. Недоліки: дуже низька якість поверхні різки, яка дуже тверда і оплавлена на глибині 2-5 мм; погано ріжуться кольорові сплави і нержавіючі сталі.

Останнім часом усе ширше для розрізування листового прокату, прутків та виготовлення високоточних деталей складних контурів застосовують електроіскрові дріт'яно-вирізні верстати, високоточні гідроабразивні установки, верстати для повітряно-плазмового різання, верстати для лазерного різання тощо. Це високоточні верстати, які працюють в автоматичному режимі і керуються сучасними системами ЧПК.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Види прокату.
2. Виправлення прокату.
3. Способи розрізування прокату.

5.5. Вибір раціонального способу виготовлення заготовки

Фактори, які впливають на собівартість виготовлення заготовок

Фактори, що впливають на собівартість виготовлення заготовок у машинобудуванні, можна розділити на три групи:

конструктивні фактори - тобто розміри та конфігурація деталі, точність та шорсткість її поверхонь, марка матеріалу деталі та його здатність оброблюватись литтям, методом пластичної деформації, зварюванням, різанням тощо;

виробничі фактори – тобто наявність необхідного обладнання, його завантаженість, освоєння різних процесів виготовлення заготовок, культура виробництва тощо;

технологічні фактори – тобто способи формоутворення заготовок, вибір конкретного способу отримання заготовки, обладнання, інструменту, технологічного процесу.

Усі три групи факторів взаємопов'язані і впливають на собівартість заготовки. Ми зупинимось на третій групі факторів, хоча і конструктивні і виробничі фактори суттєво впливають на вибір способу виготовлення заготовок і їх врахування дозволяє проектувати технологічні заготовки. Технологічна заготовка не тільки повинна відповідати вимогам виробництва, але також забезпечувати довговічність та надійність роботи деталі при експлуатації. Виробництво технологічних заготовок забезпечує для даного типу виробництва мінімальну собівартість, матеріалоємність, праце- та матеріалоємність і високу якість.

Собівартість виготовлення деталі C можна визначити орієнтовно за формулою

$$C = M + Z + O,$$

де M – вартість матеріалу на деталь; Z – розходи на заробітну плату при виготовленні заготовки і її обробці; O – розходи, що враховують вартість оснастки та інструменту.

Відмітимо, що навіть для таких процесів формоутворення, як лиття, кування, штампування тощо, де вартість оснастки висока, вартість металу у собівартості деталі доходить до 60 %. Тому одним з найефективніших шляхів зниження собівартості, особливо в МВ та ВСВ, є зниження матеріалоємності, тобто вибір економного способу виготовлення заготовок.

Орієнтовно технологічність деталі можна оцінити за допомогою наступних показників :

$K_{в.п}$ - коефіцієнтом виходу придатного, який визначається як відношення маси заготовки M_3 до маси вихідного металу M_m , тобто

$$K_{в.п} = M_3 / M_m ;$$

$K_{в.т}$ - коефіцієнтом вагової точності, який визначається як відношення маси готової деталі M_d до маси заготовки M_3 , тобто

$$K_{в.т} = M_d / M_3 ;$$

$K_{в.м}$ - коефіцієнтом використання металу, який визначається як відношення маси готової деталі до маси вихідного металу, тобто

$$K_{в.м} = M_d / M_m = K_{в.п} K_{в.т} .$$

$K_{в.п}$ характеризує розхід металу в заготовчих цехах, на ливникові системи, облой, вигар металу, брак тощо. $K_{в.т}$ показує, наскільки форма заготовки наближається до форми деталі, тобто характеризує об'єм механічної обробки. $K_{в.м}$ характеризує розхід металу на виготовлення деталі. Найчастіше раціональність вибору способу виготовлення заготовки оцінюють за $K_{в.т}$. У середньому в машинобудуванні значення $K_{в.т}$ не перевищують 0,62 для процесів кування та штампування і 0,68 для процесів лиття.

Необхідно відмітити, що в основі вибору раціонального способу виготовлення заготовок лежить техніко-економічний аналіз, який виконується за нормативними показниками собівартості, що використовуються на даному підприємстві.

Основні положення до вибору раціональної заготовки

Для виготовлення заготовок у машинобудуванні найчастіше застосовують такі методи: лиття, обробка металів тиском, зварювання, отримання заготовок з прокату, з металевих порошків, з пластмас, комбіновані методи. Кожен з методів має багато способів, що ускладнює вибір раціональної заготовки [3,4,44,45,47,84,109,119].

Матеріали. При виборі методу отримання заготовки в першу чергу враховують марку матеріалу деталі, його здатність оброблюватись литтям, гарячим пластичним деформуванням, зварюванням тощо. Наприклад, якщо матеріал деталі чавун, або сталь з Л в кінці позначення марки, то заготовки необхідно отримувати методом лиття (чавуни гарячим деформуванням не обробляються, а сталі з Л у позначенні марки мають підвищені ливарні властивості і понижену пластичність). Сталі, без Л у позначенні марки, мають підвищену пластичність і добре оброблюються гарячим деформуванням. З алюмінієвих сплавів найкращі ливарні властивості мають сплави системи алюміній-кремній (силуміни). Їх позначають АЛ2, ..., АЛ30. З мідних сплавів широко застосовують ливарні

латуні (40-45 % від усіх мідних сплавів, що використовують у ливарному виробництві), які позначаються літерами ЛЦ (ЛЦ40С, ЛЦ30А3 тощо), та олов'янисті бронзи (відповідно 15-20 %), які позначаються літерами БрО (БрОЗц2с5, БрО4Ц7С5 тощо).

Пластичним деформуванням оброблюють різні сталі, без Л у позначенні марки, які мають підвищену пластичність і добре оброблюються гарячим деформуванням. З алюмінієвих сплавів пластичним деформуванням оброблюють сплави АМц, АК4-1, АК6, АК8, В95, Д18, Д16 та інші. З магнієвих сплавів – МА1, МА6, МА11, ВМ65, ВМД1 та інші. З мідних сплавів – ЛН65-5, ЛС59-1, ЛК80-3, БрОФ6,5-0,15, БрОЦ4-3 та інші.

Тип виробництва. В МСВ та ОВ широко застосовують заготовки з гарячекатаного прокату, отримані литтям у піщано-глинисті форми за дерев'яними моделями, куванням. Такі заготовки мають низьку точність, великі припуски на механічну обробку та напуски, що обумовлено недосконалістю технологічних процесів, не вигідністю застосування високопродуктивного обладнання та оснастки. При цьому збільшується розхід металу, зростає трудомісткість обробки різанням. У результаті в структурі собівартості доля витрат на основні матеріали доходить до 50 % і на заробітну плату – до 35 %.

В умовах МВ та ВСВ доцільно застосовувати такі високопродуктивні способи лиття, як лиття під тиском, в оболонкові форми, в кокілі, за моделями, які виплавляються, а також обробку гарячим штампуванням у відкритих та закритих штампах на молотах, кривошипних пресах, горизонтально-кувальних машинах тощо. При цьому отримують високоточні заготовки з невеликими припусками та напусками на механічну обробку. Застосування цих способів дозволяє зменшити припуски на обробку різанням у середньому на 25-30 % від маси заготовок. Підвищені затрати на обладнання та оснастку розносяться на велику кількість заготовок і перекриваються економією металу і зменшенням механічної обробки. Такі технологічні процеси забезпечують мінімальну собівартість виготовлення деталей.

У ССВ застосовують лиття у піщано-глинисті форми за металевими моделями з машинним формуванням, стандартні модельні плити з вкладишами, уніфіковані переналагоджувані кокілі та прес-форми, підкладні штампи, універсальні штампові блоки тощо, що дозволяє отримувати якісні заготовки і зменшити витрати на переналагоджувану оснастку.

З викладеного виходить, що підвищення серійності випуску заготовок є одним з найдієвіших способів підвищення їх технологічності і зниження собівартості виготовлення деталей.

Технологічне оснащення. Технологічне оснащення виробництва характеризує рівень застосування технологічної оснастки, вартість якої суттєво впливає на собівартість продукції. У заготовчих цехах це можуть бути дерев'яні та металеві моделі, кокілі, прес-форми, підкладні штампи, штампи для гарячого штампування, пристрої для зварювання тощо. Оптимальний рівень технологічного оснащення визначається мінімальною собівартістю виробів. Застосування високопродуктивного, але дорогого, оснащення недоцільне при невеликій серійності випуску продукції, бо при цьому зростають питомі витрати на оснастку при визначенні собівартості заготовок. І, навпаки, при великій програмі випуску виробів у МВ та ВСВ, застосування високопродуктивної дорогої оснастки доцільне, бо, внаслідок великої стійкості та довговічності оснастки і рознесення її вартості на велику кількість виробів, питомі витрати на оснастку знижуються і вони повинні перекидатись економією від зменшення об'єму механічної обробки різанням.

У МСВ і ОВ доцільно застосовувати багатофункціональні переналагоджувані універсальні пристрої та дешеві пристрої (дерев'яні модельні комплекти, підкладні штампи, штампові блоки зі вставками тощо), які зменшують питомі витрати на оснастку в собівартості заготовок. Але це зменшення витрат на оснастку повинно перекидатись підвищені затрати на механічну обробку різанням.

Розміри, конфігурація та маса деталі. Розміри, конфігурація та маса деталі суттєво впливають на собівартість її виготовлення. Як правило, зі збільшенням розмірів і ускладненням конфігурації собівартість зростає. Проте питома собівартість деталі, віднесена на одиницю її маси, зі зменшенням маси деталі підвищується, особливо різко при масі до 20 кг. Така закономірність характерна для усіх способів виготовлення заготовок, а також для їх механічної обробки. Це пояснюється відносним зростанням загальної площі поверхонь, які потребують механічної обробки.

Загальна тенденція сучасного машинобудування – зменшення дорогої механічної обробки різанням і застосування замість неї таких високоточних способів отримання заготовок, як лиття під тиском, штампування рідких металів, лиття за моделями, які виплавляються, холодна висадка, електровисадка, обтискання на ротаційно-кувальних машинах, калібрування, чеканка тощо. Такі процеси дозволяють мінімізувати об'єм механічної обробки різанням або позбутися її. Нові технологічні процеси обробки поверхонь пластичним деформуванням дозволяють забезпечити високу якість поверхонь деталей та продуктивність: обкатування та розкатування поверхонь роликми та кульками; накатування зубів, шліців та різьб; дорнування тощо. Такі операції найчастіше є завершальними при виготовленні деталей.

Розміри заготовки можуть обмежуватись технологічними можливостями обладнання та оснастки. Наприклад, лиття в ґрунті та піщано-глинистих формах практично не має обмежень за розмірами заготовок; в оболонкових формах отримують виливки з габаритними розмірами до 80 см; литтям під тиском виготовляють виливки масою до 100 кг; литтям за моделями, які виплавляються, отримують невеликі виливки складної форми масою до 20 кг; литтям у кокілі – виливки масою до 500 кг; куванням отримують поковки практично необмежених розмірів і маси; гарячим штампуванням – поковки масою до 1000 кг.

Точність та якість поверхонь. Застосування точних способів отримання заготовок забезпечує високу точність та низьку шорсткість поверхонь, які часто не потребують подальшої обробки. Найточніші способи лиття забезпечують точність поверхонь заготовки до 10-13 квалітету з шорсткістю до R_a 0,32-2,5 мкм. Прецизійні способи обробки тиском забезпечують при ротаційному обтисканні заготовок типу валів точність до 0,1-0,6 мм при гарячій обробці і до 0,04-0,4 мм з R_a 0,32-0,63 при холодній обробці. Штампування з наступним карбуванням забезпечує точність розмірів поверхонь до 0,05-0,1 мм з R_a 2,5-10 мкм; штампування видавлюванням – точність 0,2-0,5 мм з R_z 80-320 мкм; холодна висадка на автоматах – точність розмірів поверхонь 8-11 квалітету з R_a 1,25-2,5 мкм.

Можливості наявного обладнання. Наявність необхідного обладнання, його завантаження та освоєння певних технологічних процесів виготовлення заготовок дуже часто є вирішальним фактором при виборі способу виготовлення заготовок. При цьому необхідно враховувати наскільки досконало освоєні певні технологічні процеси, який рівень виходу придатної продукції та відсутності браку, яку точність та шорсткість поверхонь заготовок забезпечує даний процес на практиці.

Особливо наявність та можливість обладнання необхідно враховувати для тих процесів, які потребують спеціального дорогого устаткування: лиття під тиском, відцентрове лиття, електрошлакове лиття, гаряче об'ємне штампування, автоматичне зварювання тощо. Наприклад, наявність у ковальсько-пресовому цеху ротаційно-кувальних машин дозволяє отримувати осесиметричні ступінчасті заготовки круглого перерізу, практично без подальшої механічної обробки різанням; наявність карбувальних пресів дозволяє, після гарячого штампування, отримувати поковки з мінімальними припусками на обробку різанням.

Важливо враховувати призначення обладнання за потужністю та габаритами виготовлюваних виробів. Необхідно попередньо розраховувати потрібну потужність молотів, пресів та інших машин для виконання певної операції, а після підбирати відповідне обладнання, що дозволить зменшити собівартість заготовок.

Основні вимоги до вибору способу лиття

Вартість литих деталей визначається не тільки технологічним процесом їх виготовлення, але і вартістю металу, що особливо важливо для литих заготовок з дорогих сплавів : високолеговані сталі, титанові сплави, олов'янисті бронзи тощо. Тому необхідно велику увагу приділяти зменшенню відходів металу в процесі лиття, а також знижувати масу деталей. Дуже часто конструктори необгрунтовано завищують міцність деталей, які працюють при незначних навантаженнях. Для зменшення маси деталі ще на стадії проектування необхідна узгоджена співпраця конструктора і технолога [3,4,56,62,103-105,111,114].

При аналізі конструкції литої деталі необхідно правильно оцінити напрям та величину діючих навантажень, забезпечити оптимальне співвідношення між міцністю і об'ємом металу. По можливості необхідно застосовувати тонкостінні виливки, які не тільки мають меншу масу, але і вищу питому міцність тонких стінок. Масу литої деталі можна зменшити застосуванням ребер міцності, коробчастих, таврових та інших перерізів, заміною виступаючих бобишок заглибинами під головки болтів тощо. У місцях концентрації напруг необхідно передбачати достатню величину радіусів переходу між спряжуваними поверхнями, що також підвищить міцність деталі і зменшить її масу.

Необхідно також враховувати вимоги до деталі в процесі її експлуатації, що дозволяє замінити дорогі матеріали дешевшими. Наприклад, замість деталей з легованих сталей застосовувати деталі з високоміцного або модифікованого чавуну, що не тільки знижує вартість металу, але й процесу лиття завдяки кращим ливарним властивостям чавунів.

Таким чином, при виборі способу отримання литої заготовки в першу чергу оцінюють її технологічність. Після застосовують порівняльний аналіз різних способів лиття, щоб призначити найкращий.

При порівнянні різних способів лиття враховують наступні фактори:

1. Для отримання якісних виливків необхідно враховувати ливарні властивості сплавів (рідкотекучість, усадку, схильність до утворення газової пористості, раковин, тріщин, ліквациї тощо). Наприклад, сплави з низькою рідкотекучістю не слід заливати в металеві форми, які мають високу теплопровідність; сплави з великою усадкою краще заливати у податливі піщано-глинисті та керамічні форми, що зменшує внутрішні напруги у виливках та ймовірність появи тріщин; рідкотекучість сплавів підвищується при застосуванні відцентрового лиття, лиття під тиском, штампування рідких металів.

2. При виборі способу лиття необхідно оцінювати технологічність конструкції деталі відносно даного способу. Наприклад, складні тонкостін-

ні виливки найкраще отримувати для кольорових сплавів литтям під тиском, а для чорних – литтям за моделями, які виплавляються; при литті в кокіль форма вилівка повинна бути простою, а при відцентровому литті – мати форму порожнистого тіла обертання.

3. Необхідно також урахувати товщину стінок виливка, найменшу товщину стінок для виливків з чорних сплавів забезпечує лиття за моделями, які виплавляються, а для кольорових – лиття під тиском. Лиття в кокілі вимагає підвищеної до 30 % товщини стінок виливків через високу теплопровідність форм та високу ймовірність вибілювання чавунних виливків.

4. Вибраний спосіб лиття повинен забезпечувати задану точність та шорсткість поверхонь виливка. У деталях необхідно передбачати максимальну кількість необроблюваних поверхонь, які, завдяки міцній та зносостійкій ливарній кірці, не тільки підвищують міцність деталі але й зменшують трудомісткість обробки різанням. Орієнтовні значення точності та шорсткості поверхонь виливків, отриманих різними способами, наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Точність та шорсткість поверхонь виливків (орієнтовно)

Спосіб лиття	Квалітети точності							Параметри шорсткості поверхонь, мкм	
	10	11	12-13	14	15	16	17	R _z	R _a
Під тиском	+	+	+						2,5-0,32
За моделями, які виплавляють			+	+					2,5-1,25
У кокіль			+	+	+	+		160-20	-
В оболонкові форми		+	+	+				80-20	-
У піщано-глинисті форми					+	+	+	320-40	
У стержнях					+	+		160-40	
Відцентрове			+	+	+	+		160-20	
У графітові, гіпсові, шамотні та метало-керамічні форми			+	+	+	+		160-10	

5. Необхідно враховувати здатність різних способів лиття забезпечувати отримання виливків без ливарних дефектів з рівномірною дрібнозернистою структурою. Наприклад, лиття в металеві форми, внаслідок підвищеної швидкості охолодження, забезпечує отримання виливків з кольорових сплавів підвищеної міцності з дрібнозернистою

структурою. Разом з тим, лиття в жорсткі металеві форми підвищує тенденцію до підвищення внутрішніх напруг і утворення тріщин.

Внаслідок низької газопроникності металевих та керамічних форм зростає можливість утворення газових раковин, що особливо важливо для лиття під тиском. Тому при проектуванні таких форм особливу увагу звертають на розміри та розміщення вентиляційних каналів.

6. Спеціальні способи лиття доцільно застосовувати в МВ та ВСВ, рідше в ССВ, щоб висока вартість обладнання та оснастки перекривалась економією від зменшення розходу металу і обробки різанням.

Вище указувалось, що найточніше доцільність застосування певного способу виготовлення виливків характеризує його собівартість при забезпеченні заданої якості. Для розрахунку собівартості необхідно мати технічно обгрунтовані норми щодо розходу основних матеріалів, витрат енергії та допоміжних матеріалів, затрат праці на виконання операцій в ливарних та механічних цехах, накладних розходів тощо. Такі матеріали повинні бути на кожному підприємстві. Для порівняльного аналізу різних способів виготовлення литих заготовок можна використати Прейскурант № 25-01 1990 р. „Оптовые цены на отливки, поковки и горячие штамповки” з введенням відповідної індексації цін.

При порівняльному аналізі різних конкурентних способів лиття можна враховувати такі показники.

Лиття в оболонкові форми та лиття в піщано-глинисті форми. Необхідно враховувати, що собівартість готових деталей, отриманих з заготовок відлитих в оболонкових формах, на 20-30 % нижча від собівартості деталей, виготовлених з заготовок, отриманих в піщано-глинистих формах, а трудомісткість виготовлення 1 т оболонкового литва, приблизно, на 30-50 % нижча трудомісткості литва, виготовленого в піщано-глинистих формах. Проте застосування лиття в оболонкові форми доцільне тільки в МВ та ВСВ через високу вартість формових матеріалів та обладнання.

Лиття за моделями, які виплавляються, та заготовки, отримані з прокату або штампуванням. Застосування лиття за моделями, які виплавляються дозволяє зменшити розхід металу (для різних галузей промисловості) в межах 35-90 %, об'єм обробки різанням – на 50-85 %, трудомісткість виготовлення деталі – на 35-80 %. Проте процес лиття за моделями, які виплавляються, відрізняється високою трудомісткістю і його доцільно застосовувати в МВ та ВСВ.

Лиття в кокіль та лиття в піщано-глинисті форми. Лиття в кокіль забезпечує отримання точніших виливків з низькою шорсткістю поверхонь, а також високі техніко-економічні показники при однаковому рівні механізації. Вихід придатного литва збільшується на 2-8 %, випуск

продукції на одного робітника зростає в 2-3 рази, вартість 1 т литва знижується на 5-15 %. Основна економія отримана за рахунок зменшення трудомісткості виготовлення форм і розходу формових матеріалів. Проте через високу вартість кокілів, їх застосовують переважно в МВ та ВСВ.

Лиття під тиском та лиття в кокіль. Лиття під тиском - найдешевший, найточніший і найпродуктивніший спосіб отримання заготовок з алюмінієвих, магнієвих, цинкових сплавів, рідше латуней. Воно часто дозволяє отримати виливки, які не потребують подальшої механічної обробки. Лиття під тиском найдоцільніше застосовувати в МВ та ВСВ при річній програмі випуску деталей понад 8000. Рентабельність лиття під тиском зростає зі збільшенням програми випуску. До недоліків способу можна віднести: обмежена номенклатура сплавів (не ллються чорні сплави), обмежена конфігурація виливків, підвищена ймовірність утворення газових раковин, висока вартість прес-форм, обмежена маса виливків (до 100 кг).

Лиття в кокілі, у порівнянні з литтям під тиском, дозволяє отримати виливки дещо гіршої якості але значно складніші, масою до декількох тонн. Отримують виливки з кольорових сплавів та чавунів, рідко з сталей. Кокілі дешевші від прес-форм, не потрібні дорогі машини для лиття під тиском. Їх застосовують в МВ та ВСВ, а також у ССВ при програмі випуску від 300 деталей.

При виборі способу отримання литих заготовок слід звертати увагу на структуру металу виливка від якої суттєво залежить міцність та зносостійкість деталей. Найвищу якість металу литих заготовок отримують при штампуванні рідкого металу (особливо при кристалізації під поршнеvim тиском), після відцентровим литтям та литтям у кокілі.

Основні положення при виборі способу обробки тиском

При порівняльному виборі певного способу обробки тиском необхідно враховувати такі основні фактори:

1) висока металоємність процесу, як результат великих припусків та технологічних напусків, – витрати на метал сягають 60-80 % від собівартості поковки;

2) висока вартість штампів, яка сягає 10-15 % від собівартості виробу;

3) великі енергозатрати та висока вартість обладнання.

При остаточному виборі певного способу обробки тиском необхідно намагатись забезпечити мінімальну собівартість виготовлення якісної поковки з урахуванням типу та умов конкретного виробництва. Тобто при цьому враховують такі критерії:

1) наявність необхідного обладнання та його завантаження;

2) собівартість виготовлення поковок та готових деталей;

- 3) розхід матеріалів на поковки та штампи;
- 4) забезпечення високої точності та низької шорсткості поверхонь, необхідної структури та текстури металу;
- 5) трудомісткість обробки у заготовчих та механічних цехах.

Для порівняння собівартості деталей, отримуваних з різних поковок, можна визначити за укрупненими показниками:

$$C_d = C_m + Z_{п1} + Z_{ш} + Z_{п2} + Z_m + Z_{ек} (t_{шт1} + t_{шт2}),$$

де C_m – затрати на метал, грн; $Z_{п1}$, $Z_{п2}$ – основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників у ковальсько-пресових та механообробних цехах, грн; $Z_{ш}$ – затрати на штампи в ковальсько-пресовому цеху, грн; Z_m – затрати на інструмент та оснастку в механічному цеху, грн; $Z_{ек}$ – нормативні затрати, які зв'язані з експлуатацією обладнання, грн/хв; $t_{шт1}$ і $t_{шт2}$ – відповідно штучний час кування та механічної обробки, хв.

Визначення собівартості виготовлення деталі за наведеною формулою часто представляє певні труднощі через відсутність необхідних вихідних даних. Тому, іноді, собівартість виготовлення поковок, можна визначити за Прейскурантом № 25-01 1990 р. „Оптовые цены на отливки, поковки и горячие штамповки” з введенням відповідної індексації цін.

Для оцінювання того або іншого варіанта виготовлення поковки в залежності від програми випуску, доцільно визначити критичну серійність, тобто таку величину серій, при якій собівартість виготовлення поковок різними способами однакова. Наприклад, такий аналіз з побудовою відповідних графіків для деталей типу кільця дозволив установити, що кування доцільне, якщо партія поковок не перевищує 210 шт.; штампування на ГKM рентабельне, якщо партія поковок перевищує 210 шт.; штампування на КГШП – при партії понад 400 шт.; штампування на молотах – для партії деталей понад 480 шт.

Критична серійність залежить від вартості металу та складності поковки. Вона суттєво знижується для дорогих високолегованих сталей, титанових сплавів тощо. Застосування маловідходних способів отримання поковок теж знижує значення критичної серійності: наприклад, застосування штампування заготовок кілець на ГKM з прутків, застосування видавлювання, безоблойного штампування тощо.

Найбільший економічний ефект отримують при збільшенні коефіцієнта вагової точності, тому що при цьому зменшуються відходи металу, вартість якого у собівартості деталі значно перевищує вартість інших статей розходу.

Іноді, при виборі оптимального способу виготовлення заготовок, доцільно порівнювати заготовки, отримувані пластичною деформацією та литтям, особливо рідким штампуванням, литтям під тиском, відцентровим литтям та в кокіль. Якщо деталь можна виготовити як з поковки, так і з

виливка, то в першу чергу розглядають, чи достатню міцність та зносостійкість деталі забезпечить лита заготовка, фізико-механічні властивості якої, як правило, нижчі від кованої або штампованої. Часто, за узгодженням з конструкторами, замінюють марку матеріалу деталі. При цьому економія досягається, в основному, за рахунок зменшення розходу металу, припусків і, особливо, технологічних напусків, що дуже суттєво при виготовленні деталей складної конфігурації.

Якщо деталь за своєю конструкцією та матеріалом можна виготовити як литтям під тиском, так і з штампованої заготовки, то при виборі способу виготовлення необхідно враховувати такі фактори:

1. Температура плавлення сплаву. Наприклад, при виготовленні деталей з мідних сплавів стійкість форм для лиття під тиском 5-10 тис. виливків, стійкість штампів 10-20 тис. поковок. Крім того, вартість прес-форм у 1,5-2 рази перевищує вартість штампів, а після ~ 1000 виливків шорсткість поверхонь литих заготовок зростає через появу сітки тріщин розгару на робочих поверхнях форм. Тобто у цьому випадку доцільніше застосувати штампування. Проте, якщо деталь виготовляють з легкоплавких алюмінієвих, магнієвих або цинкових сплавів, то краще застосовувати лиття під тиском при стійкості прес-форм до 200 тис. виливків.

2. Конфігурація деталі та товщина стінок. Якщо деталь тонкостінна з складною конфігурацією, то її краще виготовити литтям під тиском. При цьому різко зменшується розхід металу і, іноді, заготовка не потребує суттєвої обробки різанням. Якщо ж заготовка товстостінна, простої форми потребує підвищених механічних властивостей і подальшої механічної обробки, то її краще виготовляти штампуванням. При литті під тиском, особливо товстостінних деталей, висока ймовірність появи газової пористості, що приводить до зниження міцності деталі, тому у цьому випадку краще застосувати штампування.

Порівнюючи лиття під тиском і штампування, враховують вартість оснастки. Зі зростанням складності деталі вартість прес-форм по відношенню до вартості штампів зростає, відповідно, у 1,25-1,5 разу.

При порівнянні відцентрового лиття порожнистих тіл обертання з штампуванням ураховують такі переваги гарячого об'ємного штампування:

припуски на обробку поверхонь отворів виливків не менші 4 мм, вони забруднені лікватами, різними домішками, мають низьку якість;

литтям важко отримати заготовки з товщиною стінок меншою 10 мм;

штампуванням отримують заготовки вищої міцності, з щільною дрібнозернистою структурою, з меншим забрудненням неметалевими включеннями;

штампуванням можна отримати заготовки з ступінчастими отворами.

Особливо доцільно отримувати штамповані заготовки невеликих розмірів з зовнішнім діаметром до 100 мм, при цьому розхід металу на 25-40 % менший ніж при відцентровому литті. При зростанні діаметра заготовки переваги штампування зменшуються і для заготовок з зовнішнім діаметром ≥ 150 мм доцільніше застосовувати відцентрове лиття.

При виборі способу виготовлення заготовок необхідно урахувати стійкість та вартість оснастки. При виготовленні 1 т заготовок у МВ стійкість прес-форм та кокілів приблизно в 2,0-2,5 рази перевищує стійкість штампів для гарячого штампування на КГШП, але вартість прес-форм та кокілів до 3-5 разів перевищує вартість штампів. На вартість оснастки найбільше впливає складність її виготовлення та конфігурація заготовки.

Основну роль при виборі способу виготовлення заготовки відіграє тип виробництва. У табл. 5.3 наведена собівартість виготовлення деталей обробкою різанням, литтям і гарячим штампуванням.

Таблиця 5.3

Відносна собівартість виготовлення деталей

Склад- ність деталей	Маса, кг	Обробка різанням			Лиття за моделями, які виплавляються			Гаряче об'ємне штампування		
		Програма випуску, шт.								
		250	5000	зв. 5000	250	5000	зв. 5000	250	5000	Зв. 5000
Прості	до 100	1,00	0,59	0,51	1,10	0,47	0,40	1,04	0,44	0,24
	101-500	1,19	0,73	0,64	1,51	0,65	0,58	1,26	0,46	0,25
Складні	до 100	8.82	3.80	2,95	2,48	1,14	0,84	7,10	1,14	0,50
	101-500	10,1	4,40	3,44	3,27	1,45	1,13	7,62	1,23	0,54
Особливо складні	до 100	10,5	4,21	3,22	3,43	1,36	0,92	11,1	1,82	1,08
	101-500	12,1	4,90	3,77	4,53	1,76	1,34	11,8	1,93	1,15

Таким чином, процеси обробки металів тиском займають ведуче місце при виготовленні заготовок завдяки високій якості структури металу і його механічним властивостям, універсальності, високій продуктивності і відносно невисокій собівартості.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Фактори, які впливають на собівартість виготовлення заготовок.
2. Основні положення до вибору раціональної заготовки.
3. Основні вимоги до вибору способу лиття.
4. Основні положення до вибору способу обробки тиском.

6. СУЧАСНІ МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК

6.1. Отримання заготовок адитивними технологіями

Швидке прототипування

Методика створення копій або швидкого прототипування (ШП) була винайдена зовсім недавно. Перша машина (рис. 6.1) для ШП з'явилася в 1980-х роках. Процес отримав таку назву за рахунок свого призначення і виду виконуваної роботи. ШП використовується для відтворення фізичних об'єктів, які створюються автоматично з метою отримання копій.

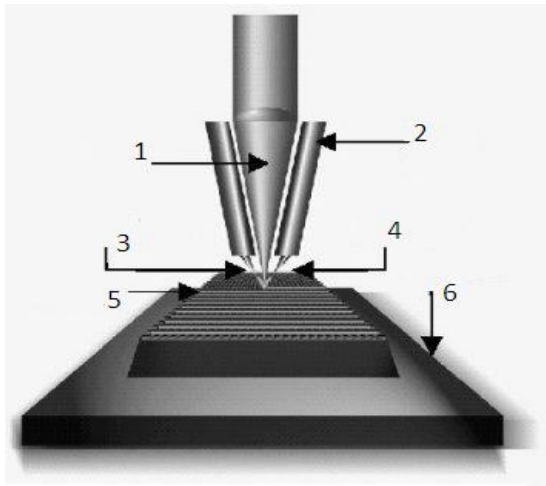


Рис. 6.1. Машина для швидкого прототипування (ШП).

1 - сфокусований лазерний промінь; 2 - порошковий нагнітальний патрубок; 3 - конвергенція порошкового потоку; 4 - поверхня нанесення; 5 - опорна пластина (ріжучого інструмента); 6 - рух по осях x-у.

Зараз все, що „вирощується”, відносять сьогодні до „адитивних технологій”. Це технології, які припускають виробництво виробу додаванням матеріалу (по-англійськи additive), на відміну від видалення (subtractive), як при класичній механічній обробці. За кордоном найчастіше застосовують два рівнозначних терміна Additive Fabrication (AF) і Additive Manufacturing (AM), рідше - Additive techniques.

Раніше ШП застосовувалося для виробництва моделей і прототипів різних деталей. Але з сьогоdnішнім розвитком технологій, ШП широко використовується в процесах виготовлення деталей, які придатні для застосування. Проте виробництво таких деталей поки обмежено [122].

Раніше швидке прототипування використовувалося лише для виробництва демонстраційних моделей і одиничних виробів.

Сьогодні за допомогою 3D - принтерів вже „вирощують” турбінні колеса і компоненти літаків. Промисловість розвивається настільки швидко, що ледве ми звикли до терміну „швидке прототипування”, як в ходу вже більш широке поняття „адитивні технології” [123].

Тривимірний друк

В даний час широке застосування знаходить (рис. 6.2) тривимірний друк (3D – printing).

Це адитивна технологія, що включає в себе використання різних матеріалів. Тут за допомогою послідовних шарів матеріалу створюється 3D - об'єкт. Технологія 3D - друку більш краща у використанні і за швидкістю виконання роботи.

Першими споживачами адитивних технологій за кордоном були „військові”. Це ті, хто пов'язаний з виробництвом наукомісткої складної, високотехнологічної продукції - озброєння, авіація, космос. Але другими і найчисельнішими є автомобілебудівники.

Ця технологія передбачає використання потужного лазера для спікання дрібних часток пластику, металу і т.п., в загальну масу, яка приймає форму змодельованого 3D - об'єкта, за допомогою лазера селективного спікання (рис. 6.3). Матеріали, які використовуються в цій технології – це метали і термопластики.

Які ж перспективи застосування адитивних технологій в серійному виробництві? Багато аналітиків відзначають суттєвий прогрес в освоєнні технологій безпосереднього вирощування виробів з металу, особливо для цілей медицини та авіакосмічної галузі. Є вже перший досвід виготовлення серійних деталей для Airbus (на машині Concept Laser) і це тільки початок.

У майбутньому адитивні технології будуть відігравати важливу роль у серійному виробництві. Проте в даний час їх не слід вважати альтернативою традиційним технологіям. Аналітики вважають, що з часом між ними буде досягнутий певний баланс.

Зростає інтерес до АФ-технологіям і для виготовлення технологічного оснащення.

На користь адитивних технологій існує багато „за”, але є і „проти”.

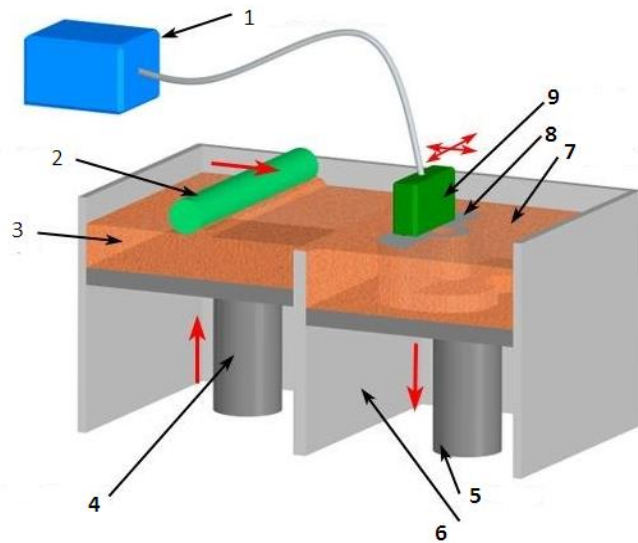


Рис. 6.2. Машина для створення 3D - об'єктів за допомогою послідовних шарів матеріалу

1 - подача рідкого клею; 2 - плоский вал; 3 - подача порошку; 4 - поршень для подачі порошку; 5 - будівельний поршень; 6 - будівельний відсік; 7 - ніша для порошку; 8 - деталь; 9 - чорнильно-струменева головка принтера.

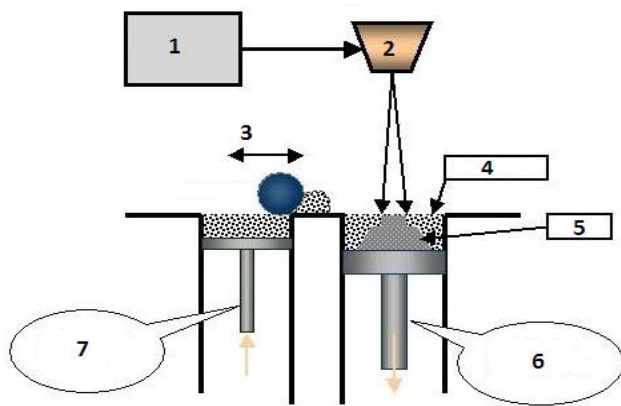


Рис. 6.3. Лазер селективного спікання
 1 – лазер; 2 – сканер; 3 - накатної верстат; 4 – порошок; 5 – деталь; 6 - розділюючий на шари поршень рухається вгору; 7 - розділюючий на шари поршень рухається вниз

„За” - це можливість побудувати, синтезувати або відлити те, що неможливо в принципі зробити традиційними технологіями, це витіснення ручної праці і заміна його роботою машини, заміщення «робочої» складової виробництва на інтелектуальну діяльність інженера-конструктора-технолога, скорочення чисельності персоналу при зростанні інтелектуального потенціалу працюючих.

„Проти” - це необхідність системної реорганізації виробництва, системного навчання і

перенавчання кадрів, освоєння CAD / CAM / CAE - технологій, перемикання програми вітчизняної індустрії в цілому на 3D-технології.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Сутність адитивних технологій.
2. Для чого використовують швидке прототипування ?
3. Які матеріали використовують при селективному спіканні ?
4. Створення 3D - об'єктів за допомогою лазера селективного спікання.
5. Переваги адитивних технологій.
6. Недоліки адитивних технологій.

6.2. Отримання металевих виливків у сучасному виробництві

Лиття за газифікованими моделями (ЛГМ)

У сучасному виробництві до 80% виливків металевих деталей отримують, використовуючи піщані форми, які при заливці в них металу виділяють гази (продукти випаровування і горіння сполучних матеріалів формувального піску). В даний час такі виливки отримують литтям за моделями з пінопласту (литтям за газифікованими моделями ЛГМ). Англomовна назва ЛГМ дослівно означає процес лиття при втраті піни, тобто використання пінопластової моделі [124].

У ливарному виробництві найбільш точні виливки отримують за моделями разового застосування. Для серії виливків такі моделі виготов-

ляють вдуванням гранул пінополістиролу в алюмінієві прес-форми (багатомісні для дрібних моделей) з наступним спінюванням і спіканням гранул шляхом нагрівання прес-форм протягом декількох хвилин до температури $\sim 130^{\circ}\text{C}$. Алюмінієві прес-форми можна виготовляти точним литтям, але частіше це робиться шляхом механічної обробки. За прес-формами можна виготовити тисячі і більше пінопластових моделей. Приклад такого отримання моделей показано на рис. 6.4.

Для виробництва разових і крупних виливків вагою до декількох тонн моделі вирізують з плит пінопласту нагрітим ніхромовим дротом по шаблонах або на гравірувально-фрезерних верстатах з ЧПК.

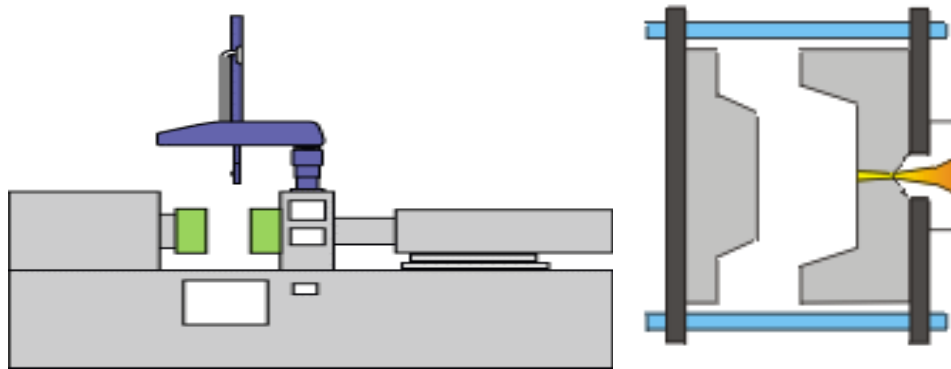


Рис. 6.4. Машина для виготовлення пінопластових моделей

Після цього полістирольну модель покривають швидковисихаючою фарбою з порошком-вогнетривом, склеюють з пінопластовим літником, поміщають в контейнер, засипають її сухим піском, і заливають розплавленим металом через цей літник. При заливанні полістирол випаровується („губиться піна”), і модель заміщається металом. При цьому метал твердне у вигляді виливка в нерухомому піску, який, облягаючи модель при засипці піску (формуванні), прийняв форму дзеркального відображення цього виливка.

Утворені при заливці металу газу з контейнера відсмоктують насосом. Розрідження підтримують приблизно на рівні 0,5 атм., одночасно це розрідження ущільнює і утримує в нерухомому стані пісок у процесі заміщення моделі металом. Потім газу через трубу вакуумної системи подають для утилізації та знешкодження в систему термokatалітичного допалювання. Там вони окислюються приблизно на 98%, і у вигляді водяної пари і двоокису вуглецю викидаються в атмосферу за межами приміщення цеху. Таке видалення газів з сухого піску насосом в 10-12 разів знижує показники забруднень повітря робочої зони цеху в порівнянні з литтям в традиційні піщані форми.

Приблизно третина його надходить в установку терморегенерації, де він звільняється від залишків конденсованих продуктів деструкції

пінополістиролу, а потім, змішуючись з іншою частиною, після охолодження в прохідних закритих охолоджувачах подається знову на формування. В результаті втрати оборотного піску не перевищують кількох відсотків.

Екологічна безпека технологічного процесу забезпечується також виключенням з нього токсичних речовин, які є зв'язуючими, і великого обсягу формувальних і стержньових піщаних сумішей. Отриманий виливок, має високу точність. Модель з пінопласту легше вилити з чавуну в 280 разів. У ньому немає затікань по роз'єму форми (роз'ємів немає) і зміщення стрижнів і форм при зборці, оскільки відсутні самі стержні з усіма проблемами їх виробництва та вибивання. Виробничі дільниці - модельна, формувальна, плавильна, очисна мають, приблизно, однакові площі й оснащуються простим устаткуванням.

Для серійного виробництва виливків використовуються напів-автомати, цикл виробництва пінопластових моделей на яких складає близько трьох хвилин. Таким способом одержують виливки з чавуну і сталі усіх видів, бронзи, латуні й алюмінію всіх ливарних марок. У ящику можуть відразу лити десятки виливків з високою точністю. До 90% виливків можна застосовувати без подальшої механічної обробки.

Описана технологія дуже економічна в порівнянні з традиційною. На 1 т лиття витрачають 50 кг кварцового піску, 25 кг протипригарних покриттів, 6 кг пінополістиролу і 10 кв. м поліетиленової плівки. Низькі витрати на модельно-формувальні матеріали дозволяють економити не менше \$ 100 на 1 т лиття, розміщення виливків по всьому об'єму контейнера дозволяє отримувати 70-80% придатного литва, економія шихти металу становить 250-300 кг, електроенергії - 100 ... 150 кВт. год., маса виливків знижується на 10-20% порівняно з традиційним опочним формуванням.

Велика економія створюється при литті складних виливків зі зносостійких сталей (траки і деталі гусениць, бронефутеровки, корпусні деталі) оскільки різко знижуються витрати на їх механічну обробку. Литтям отримують деталі складної конфігурації - колеса, зірочки, головки і блоки циліндрів, патрубки бензинових і дизельних двигунів, колінчасті вали, та ін. Капітальні витрати на організацію та введення в експлуатацію виробництва скорочуються в 2-2,5 рази. Досвід запуску ділянок продуктивністю до 50-150 т/місяць показав, що термін їх окупності не перевищував 1,5 року.

Виробничий потенціал технології ЛГМ широко використовується. Вона також дозволяє отримувати раніше нетехнологічні литі великопористі, комірчасті і каркасні виливки, лити не тільки метали і сплави, але й отримувати композити та армовані конструкції, які мають поліпшені

характеристики. При цьому в модель попередньо вставляють різні деталі або матеріали, які формують композит або армовану конструкцію, а накладення газового тиску на рідкий метал збільшує стабільність просочення таких виробів зі вставками на довжину до 1 м.

ЛГМ відносять до високотехнологічних виробництв, які дають вихід до сталого розвитку з технологічного відставання. Якщо в 80-ті роки в структурі вітчизняної промисловості та товарного експорту вага машинобудування становив порядку 30 ... 40%, а чорної металургії був у два-три рази менше, то сьогодні навпаки. Це означає, що в сучасних умовах саме розвиток ливарного виробництва є правильним напрямком до відновлення і росту вітчизняного машинобудування.

Кріотехнологія отримання виливків з металу за крижаними моделями

Ливарне виробництво металевих заготовок є основною заготівельною базою машинобудівного комплексу як базової галузі промисловості. Обсяги виробництва литих заготовок знаходяться у пропорційній залежності від обсягів виробництва машинобудування, тому що частка литих деталей в автомобілях, тракторах, комбайнах, танках, літаках та інших машинах становить 40-50%, а в металорізальних верстатах і кузнечнопресовому обладнанні доходить до 80% маси і до 20% вартості виробу [48, 125].

Сьогодні в діючих ливарних цехах Росії та України при виробництві 1 т виливків з чавуну і сталі виділяється близько 50 кг пилу, 250 кг окису вуглецю, 1,5-2,0 кг окису сірки, 1 кг окису вуглеводнів і утворюється до 5 т твердих піщаних відходів. Особливо екологічно небезпечні процеси з використанням синтетичних смол та інших органічних сполук, які дають до 70% забруднень природного середовища від ливарних цехів. Застосування кріотехнології для отримання виливків з металу в піщаних формах дозволяє створити маловідходні та безвідходні процеси, які витісняють органічні матеріали з технології виготовлення ливарних форм та запобігають забрудненню навколишнього середовища. Високі норми ресурсозбереження досягаються повторним використанням формувальних матеріалів. З кожним роком у світі неухильно зростає виробництво виливків литтям за разовими моделям, що дозволяє отримувати точне лиття. Це сприяє зменшенню металоємності виливків і найбільш наближає їх до кінцевої деталі. Тому лиття за моделями із замороженої води відноситься саме до такого роду спеціальних способів лиття (рис. 6.5-6.10).

Залучення кріотехнології для отримання піщаних форм за разовими крижаними моделями в більшості різновидів способів виключає з техпроцесу органічні модельно-формувальні матеріали та мінімізує використання зв'язуючих шляхом отримання тонкостінних оболонкових форм.



Рис. 6.5. Зразки крижаних моделей виливків, що отримуються при замороженні води



Рис. 6.6. Крижані моделі, та виливки з чорних і кольорових металів за крижаними моделями

Застосування при цьому агрегатних переходів води (з рідкого в твердий - при заморожуванні моделі, знову в рідке - при таненні моделі і вбирання рідини в пісок для звільнення порожнини форми, а потім випаровування - при сушінні зволоженої форми) в якійсь мірі подібно кругообігу води в природі. Ідея циклічності матеріальних ресурсів як метод екологізації виробництва запозичена у природи, де, як відомо, діють замкнені циклічні процеси, наслідуючи які можна наблизити виробництво до біосферних законів, і в першу чергу, закону кругообігу речовин. Вода для крижаних моделей на 30-90% і сухий пісок форми на 80-90% (за відрахуванням піску, що бере участь в створенні оболонки шляхом просочення - зволоження), може використовуватися багато разів.

Розроблено різновид вакуумного формування за крижаними моделями (що упаковані в плівку), при якій вода не потрапляє в пісок форми, і може повністю використовуватися повторно поряд з багаторазовим використанням піску. Така технологія відноситься до кріо-вакуумних процесів, в яких сухий пісок форми (без сполучного) зміцнюється під впливом вакууму при підключенні ливарних форм трубопроводами до вакуум-насоса. При цьому лиття за крижаними моделями поєднується з вакуумно-плівковим формуванням (ВПФ), яке є найбільш екологічно безпечним способом піщаного формування і за кордоном за останні роки перейшов з розряду спецвидів лиття в основні способи виробництва виливків у разові піщані форми. При ВПФ гази, що виникають при заливці розплавленого металу в ливарну форму, практично повністю відкачуються вакуум-насосом з форми, а відсутність сполучного в сухому кварцовому піску знижує до мінімуму таке газовиділення.



Рис. 6.7. Крижані моделі для виливків.



Рис. 6.8. Крижані моделі, виливки з чорних і кольорових металів за крижаними моделями.

Екологічні переваги лиття за крижаними моделями очевидні при заміні ними традиційно застосовуваних виплавлених найчастіше парафіно-стеаринових моделей (спосіб ЛВМ) або газифікованих (випалюваних) розплавом металу моделей з пінополістиролу при заливці ливарної форми (спосіб ЛГМ). При ЛВМ витрата модельного складу на тонну придатних виливків становить 40 ... 90 кг при 10% втрат, більша частина з яких відбувається при прожарюванні в термічних печах оболонкових форм при високих температурах і вигорянні не видаленого з них модельного матеріалу. Це веде до димовиделення у ливарному цеху, вимагає установки витяжної вентиляції та очищення газів, що викидаються в атмосферу.

Що стосується використання пінополістиролу для моделей, то його витрата складає близько 6 ... 6,5 кг на тонну виливків, і він руйнується при високотемпературній деструкції.

При горінні без утворення твердого залишку виділяється на 1 м³ матеріалу (при щільності 25 кг/м³) до 267 м³ диму з наявністю токсичних продуктів згоряння, головним чином СО (ОСТ 301-05-202-92Е).

Дослідженнями також виявлено можливості виділення фосгену при горінні пінополістиролу. Тому відходи пінополістиролу не підлягають спалюванню подібно вугіллю, дров і т.п., так як при термодеструкції полімера полістиролу можуть виділятися токсичні гази.

Застосування пінополістиролу за способом ЛГМ в даний час обов'язково поєднується з вакуумуванням форми, відкачуванням продуктів його деструкції та знешкодженням їх шляхом каталітичного допалювання (до повного розкладання вуглеводнів до СО₂ і парів Н₂О) перед викидом в атмосферу. Однак, такі установки допалювання недешеві, і для дрібних

ділянок їх можуть не встановлювати, а ливарні форми для економії електроенергії нерідко вакуумують короткий період часу, і частина сконденсованого в піску полістиролу може розкладатися в цеху від тепла виливка. Це, як і при ЛВМ, вимагає досить енергоємну витяжну вентиляцію та очищення газів, але в реальних ливарних цехах часто не звільняє від повного видалення шкідливих газів з робочої зони.

Ставлячи на перше місце такий аспект модернізації ливарного виробництва, як створення комфортних умов для існування і діяльності людини, в даний час ФТИМС НАН України запатентував три різновиди способу виготовлення за разовими крижаними моделями піщаних оболонкових форм із сипучого формувального матеріалу. При цьому оболонка утворюється шляхом затвердіння в ній самотвердіючої композиції при введенні в контакт затверджувача зі зв'язуючим:

1-й варіант: крижана модель служить носієм затверджувача, а облицювальний шар піску - пов'язує.

2-й варіант: крижана модель служить носієм сполучного, а суха піщана облицювальна суміш містить затверджувач. Це найбільш екологічно сприятливий варіант.

3-й варіант: модель заморожується з чистої води, яка не вступає в реакції затвердіння формувальної суміші з добавками реагентів затверджувача і зв'язуючого, але без зволоження водою ці реакції не йдуть.

У всіх трьох способах підбирали склади зв'язуючих сполучних композицій з максимальною швидкістю твердіння, часто вишукуючи в

технічній літературі відкинуті склади холоднотвердіючих піщаних сумішей (ХТС) з причини їх малої „живучості”.

При виготовленні оболонкової форми шляхом засипки піску в контейнер з крижаною моделлю, віброуцільнення, танення моделі і просочення піску отримували піщану кірку товщиною 4 ... 8 мм і більше. При цьому у складі оболонки знаходиться не більше 0,3 ... 0,4% сполучного від маси піску в контейнері, що майже на порядок менше, ніж у традиційних формах з ХТС. У дослідженнях віддають перевагу на застосування неорганічних зв'язуючих.



Рис. 6.9. Зразки крижаних моделей, та виливки з чорних металів за крижаними моделями.

Склади крижаних моделей, в яких один реагент зв'язуючої композиції знаходиться в моделі, а інший - у навколишньої її піщаної суміші, показали досить гарну технологічність отримання оболонкових форм шляхом просочення водним складом від моделі що тане. Наприклад, для крижаних моделей з водного розчину рідкого скла щільністю $1,08 \text{ г/см}^3$ використовували піщану суміш з додаванням швидкотвердіючого цементу, в процесі просочення якої тверднення одержуваної оболонки (товщиною на глибину просочення) від початку танення моделі (модельного блоку) масою 0,2 ... 0,5 кг становило 6 ... 10 хвилин. Після розплавлення залишок модельної композиції, що не просякнула навколишній пісок, виливали з затверділої оболонки, а оболонкову форму направляли на підсушування, або відпрацьовували заливку металом в сухому наповнювачі з вакуумуванням форми.

Створення та відпрацювання способів отримання оболонкових форм із протипригарним і дрібнозернистим облицюванням (покриттям) навколо разової крижаної моделі закладає основу нової кріо-(кріо-вакуумної) технології лиття дрібних і середніх заготовок з металу. Вона виключає або зводить до мінімуму використання органічних полімерів: сполучного для піску оболонкової ливарної форми, замінює пінопластові або виплавлені парафіно-стеаринові моделі на крижані. Така кріотехнологія лиття за разовими моделями відповідає екологічно чистим безвідходним технологіям з використанням принципу „просто додай води”.



Рис.6.10. Зразки ливникової системи з крижаними моделями. Спостереження створення полікристалічної структури прозорої моделі, формування в сухому піску, видалення моделі, витягування з сухого наповнювача та сушка оболонки, фізико-хімічний підбором модельно-зв'язуючих композицій, процеси тепло- і масо-переносу і поверхневі явища охоплюють майже всі модельно-формувальні процеси (з низкою фазових переходів). Інноваційний характер нових кріовакуумних технологій, їх екологічність, енерго- і ресурсозбереження дають переваги застосування їх на виробництві.

Кріотехнологія лиття з чорних і кольорових металів за крижаними моделями та впровадження такого виду лиття у виробництво вирішує проблеми екології та ресурсозбереження.

Фільтраційна формовка за крижаними моделями (ЛКМ)

Розроблюваний процес лиття за крижаними моделями (ЛКМ) у вакууміруєми піщані форми включає операцію видалення разової моделі шляхом фільтрації її розплаву в пісок форми із збереженням на місці моделі порожнини форми для подальшої її заливки розплавом металу, що дозволяє віднести його до різновиду фільтраційного формування [126,127].

Поєднання цього напрямку з комп'ютерним моніторингом і 3D-технологіями відображає розуміння засадничої ролі продуктивності і швидкості реальних процесів як одного з основних показників їх ефективності. Цей напрям формування дозволяє вирішити завдання екологізації, зниження ресурсоемності процесів точного лиття.

При ЛКМ крім подібного затвердіння сухого сипучого наповнювача з утворенням оболонкової форми, фільтрація одночасно служить видаленню моделі з піщаної форми. Оцінюючи область застосування ЛКМ, враховували, що крижана модель в ідеалі може наближатися по конструкції до пустотілої скляній ялинкової іграшки, а за розмірами бути в діапазоні від сніжинки до крижаних блоків розміром 0,25 x 0,5 x 1,0 м і вагою 150 кг. Такі блоки серійно виробляють в морозильниках, їх нескладно «склеювати» водою в збірні конструкції. Такі багатометрові ряди морозильних камер можуть стояти в цеху ЛЛМ з моделями таких же розмірів і температури.

Отримання виливків з металу за крижаними моделями

Ливарне виробництво є основною заготівельною базою машинобудування, на частку литих деталей в середньому припадає 50-70% маси машин і механізмів та 20% вартості машин. Основна частка трудомісткості виготовлення виливків, а саме 50-70%, потужності ливарного цеху припадає на формування (з приготуванням формувальних сумішей) і виготовлення стержнів. Від якості форми також залежить трудомісткість вибивання та очищення виливків [127].

За останні десятиліття обсяг виробництва виливків з металу в країнах СНД зменшився в 4-5 разів у порівнянні з показниками 1985 р. Різне зниження випуску продукції машинобудування, починаючи з 90-х рр., призвело до того, що випуск виливків в Росії скоротився з 18,5 млн. т в 1985 р. до 4,2 млн. т в 2010 р. Основною причиною такого зниження послужило багаторічна відставання технологічного застосування науки в ливарних процесах на тлі відсутності ефективної політики в галузі бізнесу: інвестиційних, маркетингових та логістичних процесів виробництва, збуту і експорту виливків. При цьому стабільно ріс обсяг світового виробництва виливків (91,67 млн. т - 2010), в якому частка Китаю перевищила 43%.

Зниження обсягу ливарної продукції РФ, України (до 1,0 млн. т) і ряду інших країн в основному компенсовано Китаєм.

У діючих ливарних цехах при виробництві 1 т виливків з чавуну і сталі вивозять у відвал до 5 т твердих піщаних відходів. Особливо екологічно небезпечне формовка з використанням синтетичних смол (в результаті експансії зарубіжних фірм переважає в більшості великих ливарних цехів) та інших органічних матеріалів, які дають до 70% забруднень природного середовища від ливарних цехів.

Залучення кріотехнології в ливарне виробництво має метою замінити льодом органічні матеріали для виготовлення разових ливарних моделей з метою ресурсозбереження та підвищення екологічної безпеки лиття.

Крижані моделі за кордоном стали виготовляти роботи - принтери. Приклад такого роботу, розробленого канадськими вченими, наведено на рис. 6.11, що використовується для створення різних за розмірами та геометрією крижаних моделей за програмою від комп'ютера [128].

Створювати об'єкти за допомогою тривимірного принтера люди навчилися відносно недавно (membrana.ru).

Йдеться про так званий тривимірний друк, що здійснюється під управлінням комп'ютера.

Вчені навчилися використовувати незвичайні здібності роботів, які застосовують для друку живих органів і кісток-імплантів.

Для цього були використані звичайні серійні роботи, які переробили з метою викладання крихітних крапель води на поверхню робочого столу або

вже зростаючої деталі, що знаходяться при низькій температурі (-23°C).

Саме „викладання”, а не „кидання”, щоб вироби виходили рівними і високоточними, краплю за краплею слід було акуратно наносити на попередній шар. При цьому розмір крапель не перевищує 0,25 мм, а зазор між льодом і соплом робота дорівнює всього 0,15 мм.

Були запропоновані три способи виготовлення піщаних оболонкових форм за крижаними моделями шляхом отримання тверднучих сполучних композицій типу „зв'язуючий + затверджувач”:



Рис. 6.11. Перший робот для створення „цифрових крижаних скульптур”

1) крижана модель служить носієм зв'язуючого, а суха піщана облицювальна піщана суміш містить затверджувач;

2) крижана модель служить носієм затверджувача, а облицювальний шар піску - зв'язуючого;

3) модель заморожується з чистої води (найбільш екологічно сприятливий варіант), яка (розплав моделі) не вступає в реакції затвердіння формувальної суміші з добавками реагентів затверджувача і зв'язуючого (у вигляді порошку), але без води ці реакції не йдуть.

У цих трьох способах підбирали склади з максимальною швидкістю твердіння.

При виготовленні оболонкової форми шляхом засипки піску в контейнер з крижаною моделлю і віброущільнення, танення моделі і просочення піску отримують піщану кірку товщиною 3 ... 8 мм. При цьому до складу оболонки достатньо вводити 0,3 ... 0,4% зв'язуючого від маси піску в контейнері, що приблизно на порядок менше, ніж вводять в традиційних формах з холоднотвердіючих піщаних сумішей (ХТС) зі зв'язуючим.

Взагалі, застосування агрегатних переходів води (з рідкого в твердий при заморожуванні моделі, знову в рідкий при таненні моделі та звільнення порожнини форми, а потім випар при сушінні зволоженою форми) в якійсь мірі подібно кругооберту води в природі.

Ідея циклічності матеріальних ресурсів, як метод екологізації виробництва запозичена у Природи, де, як відомо, діють замкнуті циклічні процеси, тому виробничі технології повинні бути співзвучні біосферним законам, і в першу чергу з законом круговороту речовин.

Розробка складників, що заморожуються в складі моделі водних композицій, в яких один компонент зв'язуючого знаходиться в моделі, а інший в піщаній суміш, яка оточує її, показала досить хорошу технологічність отримання оболонкових форм шляхом просочення водним складом від моделі, що тане.

В одному з таких прикладів використовували крижані моделі з водного розчину рідкого скла щільністю $1,08 \text{ г/см}^3$ при вмісті в піщаній суміші швидкотвердіючого цементу або гіпсу. Тривалість твердіння оболонки від початку танення моделі масою 0,2 ... 0,9 кг складала близько 6 ... 10 хв. і більше (в залежності від типу цементу/гіпсу), після повного розплавлення моделі залишок модельної композиції, що не просочила навколишній пісок, виливали з затверділої оболонки, а оболонкову форму направляли на підсушування або заливання металом з невеликим вакуумуванням.

Також були розроблені способи вакуумної упаковки крижаних моделей в синтетичну плівку для подальшого використання технології

вакуумно-плівкового формування (ВПФ).

Способи отримання оболонкових форм із протипригарними властивостями навколо крижаної моделі дали нову кріотехнологію лиття. Ця кріотехнологія лиття по разовим крижаним моделям деталей з металів для машинобудування виключає або мінімізує використання полімерів або зв'язуючого для піску ливарної форми, замінює органічні (пінопластові або парафіно-стеаринові, які виплавляються) моделі на крижані. Такий процес виробництва виливків повністю відповідає екологічно чистим безвідходним технологіям за принципом „просто додай води”.

Використання льоду в якості конструктивного матеріалу разових моделей – це наслідок екологічної концепції застосування матеріалів, які самі руйнуються після виконання своїх функцій, а процес формування подібний до способу ЛГМ з урахуванням принципу нешкідливого обміну речовин з навколишнім середовищем [125-128].

У такому процесі формування способи утримання піщаного шару навколо моделі, якій тане, аналогічні процесу ВПФ, а також дії тиску промивної рідини в технології буріння свердловин. Якщо в першому випадку пресуючий перепад тиску на піщану стінку створюють газом, то в другому - із застосуванням рідини і використання механізму кольматации (від італ. Colmata - наповнення), який ускладнює, а потім зупиняє фільтрацію рідини в товщу стінки.

Даний ефект аналогічний герметизуючому ефекту вакуумно-плівкового формування при ВПФ. При цьому з боку крижаний моделі, яка тане, і утвореною на її місці порожниною створюють тиск напором стовпа рідини, що доливається на поверхню крижаної моделі через трубчастий стояк або випор, та/або вакуумують пісок форми з розрідженням в межах 10 ... 80 кПа, іноді у рідке середовище в порожнину форми вводять кольматуючі або зв'язуючі добавки, або їх вводять у формувальний матеріал.

Йдеться про формування з твердненням сухої сипучої піщаної суміші після фільтрації через неї рідини - затверджувача цієї суміші. При ЛКМ крім подібного затверднення сухого сипучого наповнювача з утворенням оболонкової форми, фільтрація одночасно служить видаленню моделі з піщаної форми. Оцінюючи область застосування ЛКМ, враховували, що крижана модель в ідеалі може наближатися за конструкцією до пустотілої скляній ялинкової іграшки, а за розмірами бути в діапазоні від сніжинки до крижаних блоків розміром 0,25 x 0,5 x 1,0 м і вагою 150 кг. Такі блоки серійно виробляють в морозильниках, їх нескладно «склеювати» водою в збірні конструкції, які можуть розташовуватись в цеху ЛКМ з моделями таких же розмірів і температури.

Передбачувані переваги процесу ЛКМ:

1. Екологічна безпека в порівнянні з литтям за разовими моделям з органічних матеріалів, при якому втрати (це горіння в приміщенні цеху) модельного матеріалу за цикл зазвичай складають 10 ... 100%.

2. Дешевизна отримання крижаних виробів при сучасному рівні розвитку холодильної техніки. Зазвичай на виробництво 1 т льоду витрата електроенергії становить до 100 кВт·год. Заморожування крижаних моделей на 1 т виливків масою 1 кг із залізовуглецевих сплавів вимагає до 50 кВт · год електроенергії. Майже 5-кратне зниження сумарних витрат на матеріали та енергію при отриманні форм під заливання при переході від ЛГМ до ЛКМ завдяки низькій вартості модельних матеріалів, що складаються з води на $\approx 95\%$.

3. Скорочення тривалості і трудомісткості виготовлення оболонкової форми з одного шару товщиною 4 ... 15 мм в порівнянні з такими ж показниками при отриманні багатошарових оболонок при традиційному литті за моделями, що виплавляються. Цей процес формування має наступну тривалість основних операцій: засипання та ущільнення сухої піщаної суміші у формі з моделлю, герметизація плівкою і підключення до вакуум-насоса - 3 ... 8 хв., танення моделі у формі з фільтрацією її рідини, твердінням оболонки і видаленням надлишку рідини з порожнини - 10 ... 20 хв. Потім форму направляють на заливання при вакуумуванні форми, або на підсушування і заливання, або на вилучення оболонки з сипучого піску і її підсушування. Є теплоносії і способи нагрівання для поєднання плавлення моделі та сушіння оболонки.

4. Завдяки низькій в'язкості водної композиції в порівнянні з воскоподібними складовими крижана модель має чіткий відбиток від прес-форми, чому сприяє розширення води при заморожуванні, практично відсутня традиційна усадка твердої моделі. Висока міцність льоду в порівнянні з традиційними органічними матеріалами.

5. Тверднення оболонок в обсязі ущільненого вібрацією і вакуумом піску навколо моделі підвищує точність, стабільність розмірів, якість поверхні вилівка і тріщиностійкість, на відміну від традиційних оболонок, які тверднуть пошарово, що викликає напруження.

6. Наявність методів пошарового 3D-наморожування крижаних моделей (Rapid Freeze Prototyping) і 3D-деформування моделей з порошкового льоду на верстатах з ЧПК дозволить автоматизувати процес їх виробництва.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Сутність лиття за газифікованими моделями (ЛГМ).
2. Переваги лиття за газифікованими моделями.
3. Недоліки лиття за газифікованими моделями.

4. Сутність отримання виливків з металу за крижаними моделями
5. Сутність отримання виливків з металу вакуумно-плівковим формуванням (ВПФ).
6. Сутність фільтраційної формовки за крижаними моделями (ЛКМ).
7. Переваги процесу отримання виливків за крижаними моделями
8. Сутність методу пошарового 3D-наморожування крижаних моделей.

6.3. Сучасні методи розкрою листового металу

Отримання заготовок лазерним різанням металу



Рис. 6.12. Ріжуча головка лазера.

Одним з найбільш передових методів розкрою листового металу є лазерне різання. Цей вид різання полягає в розігріві (рис. 6.12) поверхні листа металу сфокусованим лазерним променем. Окисли, що утворюються на поверхні металу, збільшують поглинання енергії і підвищують температуру до точки плавлення. Одночасно в зону нагрівання подається активний газ (кисень), який видуває продукти плавлення. Промислова лазерна установка для різання листового металу представлена на рис. 6.13.

Технологічний процес різання на таких установках повністю автоматизований і керується системою ЧПК.

Метод дозволяє отримувати вироби різних форм з листового металу товщиною не більшою 25 мм (вуглецеві конструкційні сталі), до 15 мм (нержавіючі сталі та твердосплавні матеріали), до 10 мм (алюміній), до 8 мм (латунь, мідь), до 4 мм (титан) [5,7,74,95].

Такий метод розкрою забезпечує:

- оптимальні витрати матеріалу;
- отримання деталей з будь-яких видів металу;
- серійне виробництво деталей в стислі терміни;
- високу точність виготовлених деталей;
- високу економічність обробки листового металу.

Завдяки цим перевагам лазерне різання знаходить широке застосування в промисловості. Оскільки при цьому способі різання немає

ніяких механічних впливів на матеріал, то вироби не вимагають подальшої механічної обробки.



Рис. 6.13. Лазерна установка з ЧПК з системою охолодження для різання листового металу

До недоліків лазерного різання можна віднести:

- термічний вплив на оброблюваний матеріал, що призводить до зміни в його структурі;
- вузький діапазон оброблюваних матеріалів та їх товщин;
- висока енергоємність процесу;
- не можна різати прозорі матеріали;
- виділення в атмосферу шкідливих газів;
- висока вартість обладнання і його технічного обслуговування.



Рис. 6.14. Верстат для лазерного просторового 3D-різання.

Просторове лазерне різання 3D (рис.6.14) окрім дуже високій швидкості виробничого процесу також забезпечує практично ідеальну кромку обрізу. Додатковою перевагою є безконтактне роз'єднання лазерним променем з невеликою зоною дії високої температури. При цьому в ході обрізування сталевих листів або прорізанні отворів у вже з'єднаних компонентах практично не спостерігається деформації матеріалу компонента. Цікавою областю застосування систем лазерного

різання є варіантне виробництво, при якому модифікація здійснюється тільки наприкінці виробничого процесу за допомогою специфічного варіанту для конкретної моделі різання. Лазерне різання не тільки дозволяє знизити кількість необхідних інструментів, воно також спрощує логістику і зберігання на складі.

В даний час роботи забезпечують управління переміщенням конструкційних елементів під стаціонарну лазерну ріжучу голівку. При цьому рух лазерної головки здійснюється за допомогою спеціальної комп'ютерної програми. Її переміщення здійснюється високоточними приводами по взаємно перпендикулярних напрямках, що забезпечує отримання контуру деталі високої точності.

Отримання заготовок плазмовим різанням металу

Принцип роботи обладнання плазмового різання заснований на властивостях плазмової дуги місцево розплавляти і видаляти матеріал з місця розрізу. При цьому використовується постійний струм прямої дії. На відміну від лазерного різання, плазмовий спосіб дозволяє різати матеріали максимальної товщини.

В даний час впровадження технологій плазмового різання металів швидко і постійно поширюється. Це обумовлено, перш за все, потребами різних сфер виробництва - від будівництва до машинобудування.

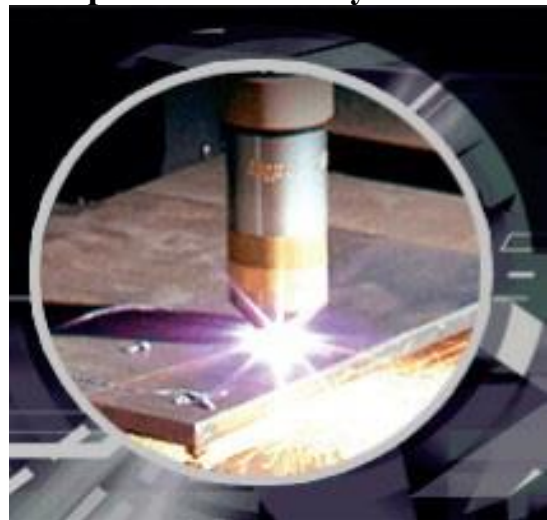


Рис. 6.15. Плазморіз.

Установка плазмового різання високої точності з ЧПК показана на рис. 6.15, 6.16. Таки установки забезпечують високу точність і швидкий робочий рух по всіх осях за рахунок якісних лінійних направляючих. Вони мають двохсторонній привод портала, зубчасторейкові приводи, не зношуються і практично не потребують техобслуговування [9,116].

Найпоширенішим способом оперативної та точної обробки листового металу вважається, все-таки, плазмове різання металу. Цей спосіб, безсумнівно, має цілу низку переваг порівняно з іншими видами. Так як оброблюваний метал практично не нагрівається при такій обробці до високої температури, його випадкова деформація знижується практично до нуля. Спосіб ідеально підходить для різання потовщеного металу, розмір якого доходить до ста міліметрів. Великий плюс плазмового різання

полягає в тому, що відбувається вона на великій швидкості, що дозволяє за короткий період часу провести обробку великих партій листового металу.



Рис. 6.16. Установка плазмового різання з ЧПК високої точності

Плазморіз залишає ідеально гладкі кромки різу, а значить, не треба буде здійснювати подальшу додаткову обробку виробів.

Переваги плазмового різання полягають у наступному:

- найвища швидкість різання в найбільш поширених діапазонах товщин металу до 25 мм (перевищує швидкість киснево-газового різання в 2рази), а при зменшенні товщини металу швидкість різання може в 12 разів перевищувати швидкість киснево-газової обробки;
- швидкість пропалювання при плазмовому різанні складає в середньому 2 с, а при киснево-газової - 30 с. Це важливо, тому що при малих товщинах металу тривалий вплив високої температури призведе до деформацій;
- при плазмовому різанні металу утворюється мінімальна кількість окалини, яка легко видаляється, тобто якість різання високе. Також сучасні системи плазмового різання легко управляються, не вимагають великих тимчасових витрат на їх переналагоджування;
- технологія плазмового різання універсальна і дозволяє різати не тільки різні метали - мідь, алюміній, нержавіючу сталь та ін., але і різати кілька аркушів одночасно за одним шаблоном;

- установки плазмового різання металу безпечні і не використовують у своїй роботі горючих газів, відкритого вогню, не виділяють великої кількості тепла, що значно знижує небезпеку, пов'язану з обробкою гарячого металу. Ширина зони теплового впливу при плазмовому різанні складає всього 2 мм;

- висока швидкість, якість, універсальність плазмового різання істотно знижують витрати на вторинну обробку.

До недоліків плазмового різання відносять:

- можливість обробляти лише матеріали, які проводять струм;
- низька ефективність використання методу при необхідності різання криволінійних поверхонь;
- ризик появи мікротріщин, оплавлень, обгорання і структурних змін;
- потреба у подальшій обробці місць розрізу;
- низька ефективність при різанні матеріалів значної товщини (більше 25 мм), а також легованих сталей;
- ризик створення вибухо-і пожежонебезпечної ситуації;
- низька екологічність процесу через шкідливого впливу на навколишнє середовище виділяються газів під час різання;
- необхідність пристрою потужної вентиляції при роботі в закритих приміщеннях.

Отримання заготовок гідроабразивним різанням металу

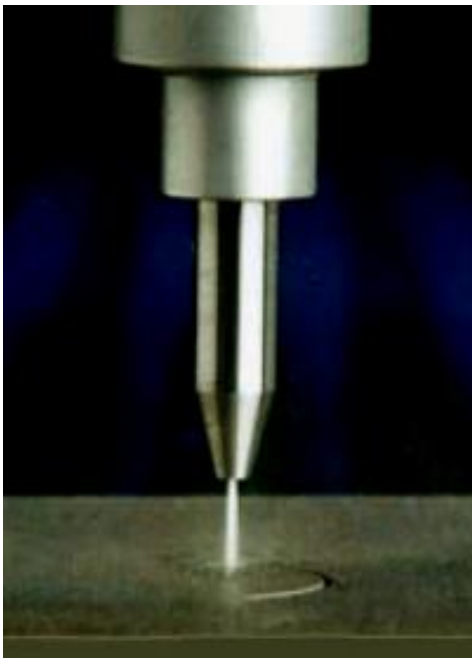


Рис. 6.17. Ріжуча головка установки гідроабразивного різання.

Принцип гідроабразивного різання заснований на способі розрізування матеріалу за допомогою водяного струменя високого тиску. Фізична суть механізму гідроабразивного різання складається у відриві і віднесенні з порожнини різучих частинок розрізується швидкісним потоком твердофазних частинок. Стійкість витікання і ефективність впливу двофазної струменя забезпечуються оптимальним вибором цілого ряду параметрів різання, включаючи тиск і витрата води, що подається, а також витрата і розмір часток абразивного матеріалу.

Насос високого тиску подає струмінь води під тиском 4130 атм. в різальну головку верстата, яка самоналагоджується (Рис.6.17), і керується системою ЧПК.

Вода, проходячи через мірний отвір (0,3-0,5 мм) зі швидкістю 1200 м/сек., переміщується з абразивними частинками, викидається через фокусуючу трубку і здатна вирізати будь-які форми з будь-яких матеріалів товщиною до 300 мм. В основі технології гідроабразивного різання лежить принцип ерозійного впливу суміші високошвидкісний водяного струменя, яка виступає в якості носія, і твердих абразивних частинок на опрацьований матеріал [11-13,57,68-70,82].

Різальна головка встановлюється на пристрої позиціонування координатного столу (рис. 6.18) і може переміщатися за допомогою електроприводів по трьох координатах з робочими рухами, зумовленими габаритами координатного столу.



Рис.6.18. Установка гідроабразивного різання.

За допомогою гідроабразивного струменя можна різати практично будь-які матеріали:

- чорні і кольорові метали (сталь, мідь, бронза, алюміній, нікель, магній, титан та їх сплави);
- важкооброблюємі леговані сталі і сплави (у тому числі: жароміцні і нержавіючі);
- композиційні матеріали;
- керамічні матеріали (керамограніт, плитка);
- природні і штучні камені (граніт, мармур, кераміка, фарфор і т. д.);
- скло звичайне, багат шарове, посилене і композитне (триплекс, бронескло, армоване скло, склотекстоліт і т. п.);

- пористі і прозорі матеріали;
- сотові та сендвіч-конструкції;
- інші матеріали - графіт, скловолокно, композитні матеріали, шкіру, пластик, картон, кевлар;
- бетон і залізобетон.

Різання м'яких матеріалів, таких як поліуретан, поролон та інші піноматеріали, пластмаси, шкіряні вироби, картон, тканини і т. п. здійснюється тільки струменем води без додавання абразиву.

Цю технологію часто порівнюють з лазерним і плазмовим способом різання металу. Але в даному випадку прямої конкуренції не існує. Промінь лазера ріже тонку сталь набагато швидше, але машина гідроабразивного різання оснащується декількома різальними головками, і в поєднанні з холодним характером різання і повною відсутністю термічного і механічного впливу на зону різання дає унікальні можливості при фасонному різанні матеріалу.

Гідроабразивне різання є не тільки альтернативою механічній, лазерній, ультразвуковій та плазмовій різанні, але і в деяких випадках (різка багатошарових, стільникових і композиційних матеріалів, кераміки) єдино можливим. Обробка особливо ефективна при різанні багатьох важкооброблюваних матеріалів: титанових сплавів, різних видів високоміцних керамік і сталей, а також композитних матеріалів. При їх гідроабразивному різанні не створюються розриви в структурі матеріалу, який, таким чином, зберігає свої первинні властивості.

Гідроабразивний струмінь не змінює фізико-механічні властивості матеріалу і виключає деформацію, оплавлення і пригорання матеріалу.

Переваги технології гідроабразивного різання:

- використання однієї і тієї ж установки для різання широкого спектру матеріалів, без зміни або переналагодження ріжучого інструменту, робить метод універсальним для діапазону товщин розрізуваних матеріалів від 0,1 до 300 мм;
- утворюване в процесі різання тепло практично відразу відноситься водою (низька температура в зоні різу 60-90° C);
- при використанні гідроабразивної технології виключається оплавлення і пригорання матеріалу в прилеглій зоні;
- виключається вигорання легуючих елементів у легованих сталях і сплавах;
- виключається поява розривів у структурі матеріалу і погіршення первинних властивостей матеріалу;
- виключається температурна деформація заготовки;
- виключається необхідність додаткової механічної обробки поверхні різку заготовки, внаслідок чого підвищується продуктивність;

- завдяки високій точності обробки зменшується собівартість виготовлення деталей;
 - при гідроабразивної обробці можна відтворювати контури будь-якої складності з високою точністю, тому що струмінь рідини за своїми технічними можливостями наближається до ідеального точкового інструменту;
 - можливе отримання фінішної поверхні з шорсткістю Ra 1,5-2,5 мкм при відповідному підборі технологічних параметрів установки і швидкості різку, що дозволяє застосовувати технологію гідроабразивного різання не тільки при виготовленні заготовок, але і для чистового різання деталей;
 - висока продуктивність гідроабразивного різання при обробці трудно оброблюваних матеріалів;
 - скорочення кількості або повне виключення супутніх технологічних операцій (попереднє свердління отворів, зміна або переналагодження ріжучого інструменту, подальша механічна обробка деталі);
 - економія часу на механічне закріплення заготовки на координатному столі;
 - зменшення часу холостого руху різальної головки, внаслідок можливості різання тонколистових матеріалів в багатошаровому пакеті;
 - значно скорочуються втрати матеріалу при різанні за рахунок малої ширини різку і за рахунок зменшення припусків на додаткову механічну обробку;
 - екологічна чистота і повна відсутність шкідливих газовиділень;
 - повна пожежо- і вибухобезпечність, що дозволяє здійснювати різання навіть вибухових речовин, наприклад, при утилізації боєприпасів;
- Недоліки технології гідроабразивного різання:
- недостатньо висока швидкість різку тонколистової сталі;
 - обмежений ресурс окремих комплектуючих і ріжучої головки;
 - неможливість повторного використання абразивного матеріалу.

Контрольні питання для самоперевірки

1. Сутність процесу отримання заготовок лазерним різанням.
2. Переваги отримання заготовок лазерним різанням.
3. Недоліки лазерного різання.
4. Сутність процесу отримання заготовок плазмовим різанням.
5. Переваги отримання заготовок плазмовим різанням.
6. Недоліки плазмового різання.
7. Сутність процесу отримання заготовок гідроабразивним різанням.
8. Переваги технології гідроабразивного різання.
9. Недоліки технології гідроабразивного різання.

6.4. Отримання заготовок сучасними методами штампування

Штампування вибухом

Штампування вибухом полягає в миттєвому (мс, мкс) прикладанні до заготовки механічних напружень з використанням енергії вибуху, що значно перевищують межу пружності матеріалу. Його використовують, в основному, для виготовлення великогабаритних деталей (наприклад, днищ, обичайок барабанів, котлів і т. д.). Штампування вибухом проводять як на відкритому повітрі, так і у воді [66,71,72].

Одна з установок для *штампування на повітрі* показана на рис. 6.19. На підставі 4 встановлюється штамп 5, верхня поверхня якого відповідає формі штампованої деталі. Заготовка, укладена на матриці, притискається кільцем 8, привареним до камери згоряння 1. Через отвір у верхній кришці камери в неї вводиться заряд і підривається. Гази, що виділилися при згорянні порошу притискають заготовку до поверхні штампа і вона приймає задану штампом конфігурацію. Заготовка деформується з такою швидкістю, що повітря (якщо воно залишається в порожнині штампа) не встигає вийти з-під заготовки. Воно стискається і після припинення дії вибуху, розширюючись, деформує готовий виріб у зворотний бік.

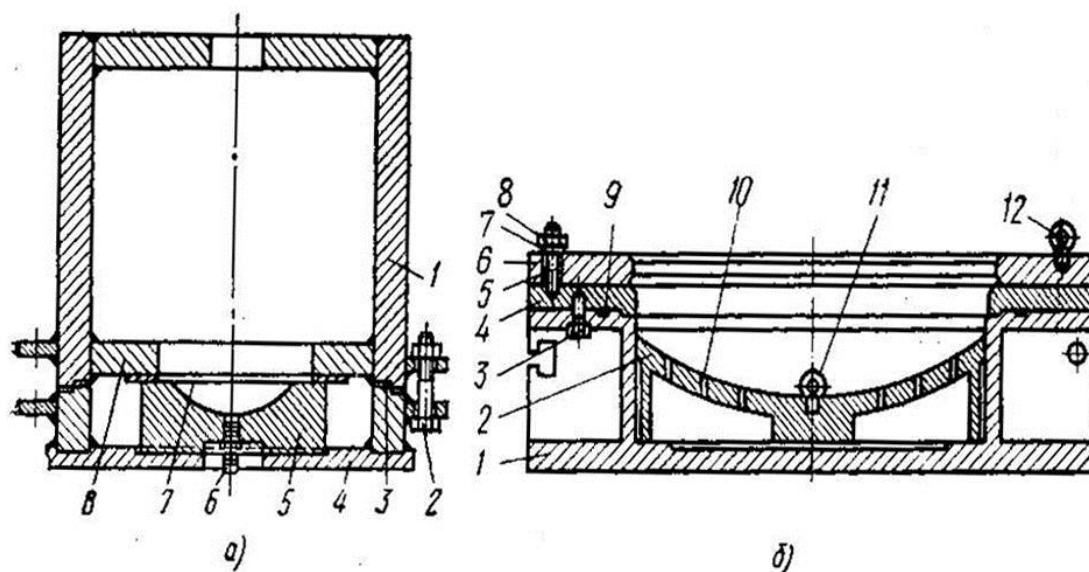


Рис. 6.19. Установка для штампування вибухом на повітрі:

- а) для штампування на повітрі: 1 - вибухова камера, 2 - болт, 3 - прокладка, 4 - підстава, 5 - штамп, 6 - штуцер, 7 - заготовка, 8 - кільце;
- б) - для підводного штампування: 1-основа, 2 - вкладиш, 3 – болт, 4 - протяжне кільце, 5 - шпилька, 6 - притискне кільце, 7 - шайба, 8 - гайка, 9 - гумова прокладка, 10 - отвір для відсмоктування повітря, 11, 12 - вантажні болти

Щоб цього не сталося, перед вибухом повітря з порожнини під заготовкою відкачують. Для цього в штамп через отвір в основі установки вворащується штуцер 6, пов'язаний гнучким шлангом з вакуум-насосом. Щоб уникнути підсосу повітря з атмосфери між штампом і притискним кільцем встановлюють прокладки.

Формоутворення вибухом отримало досить широке поширення в різних галузях машинобудування, як у нашій країні, так і за кордоном.

Це один з перших, найбільш досліджених методів високошвидкісного деформування матеріалів (вперше карбування заліза здійснено в 1888 р, а промислове використання методу почалося з 1950 р.). Володіючи високою питомою і загальною енергоємністю та ефективністю вибухові речовини (ВР) дозволяють деформувати деталі великих габаритів з високоміцних матеріалів з високою точністю. Цим методом виготовляються деталі різної конфігурації і розмірів з плоских і фасонних листових заготовок.

Такий метод порівняно з процесами листового штампування на пресах характеризується наступними перевагами:

- спрощеною конструкцією оснащення;
- можливістю формування великогабаритних деталей з високоміцних сталей і сплавів.

Найбільш широке застосування у виробництві отримав метод *штампування вибухом з використанням води* як середовища для передачі тиску від заряду вибухової речовини до заготовки (гідровзривне формоутворення). При підводному штампуванні потрібно менше вибухових речовин, ніж для досягнення того ж ефекту при штампуванні на повітрі. До того ж вода знижує рівень шуму і поглинає кінцеві продукти вибуху. Замість води використовують також мінеральне масло і, іноді, пісок. Підводне штампування вибухом виконують, звичайно, в бетонованих басейнах, при цьому не потрібно спеціальної камери згоряння. Перед укладанням заготовки робочі частини штампа повинні бути змащені солідолом.

Метод полягає в тому, що штамповану вихідну заготовку укладають на матрицю і притискають за допомогою притискного кільця. На певній відстані від заготовки поміщають заряд вибухової речовини. Матрицю із заготовкою і зарядом опускають в басейн з водою. Частина енергії, що вивільняється при вибусі заряду, передається через воду заготовці, яка деформується, приймаючи форму поверхні матриці. Щоб повітря під заготовкою не перешкоджало її переміщенню, що відбувається з великою швидкістю, порожнину матриці під заготівлею вакуумируют за допомогою спеціальної системи через отвір.

Існують також інші схеми передачі енергії від заряду до заготовки при штампуванні вибухом: продукти вибуху впливають безпосередньо на

заготовку; заготовку штампують рідиною, тиск в якій створює поршень, що переміщується силою вибуху. Вибір схеми залежить від розмірів і складності штампованих виробів, матеріалу, програми випуску, виробничих умов і ряду інших чинників.

Штампуння деталей з використанням енергії вибуху має ряд істотних переваг:

- знижується вартість інструменту, тому що використовується тільки матриця, а не комплект штампа (матриця і пуансон), а сама матриця виготовляється з дешевшого матеріалу;

- не потрібно великих капіталовкладень на пресове обладнання, хоча деякі капіталовкладення необхідні для створення пристроїв і вибухового оснащення;

- деякі деталі набагато простіше виготовляти шляхом вибухової обробки, зокрема несиметричні деталі;

- можна виготовляти складні деталі або навіть конструкції, як єдине ціле, а не з окремих частин, що з'єднуються за допомогою зварювання;

- забезпечується гарна якість поверхні, більш висока точність;

- виключається в деяких випадках проміжна термообробка внаслідок більш повного використання пластичних властивостей металу і створення більш сприятливого схеми напружено-деформованого стану.

Однак є і ряд недоліків:

- потрібні складніші заходи щодо забезпечення техніки безпеки;

- встановлення дистанційного керування;

- підготовка кваліфікованого персоналу.

Електроімпульсне і електромагнітне штампування

Поряд зі штампуванням вибухом все більше застосування знаходить штампування високовольтним електричним розрядом в рідині (*електрогідравлічне, електроімпульсне штампування*) [44,66,71,72,89].

Формування деталей електрогідравлічним способом характеризується потужним короткочасним електричним розрядом у рідкому середовищі, якій створює ударну хвилю, що впливає на заготовку.

При *електрогідравлічному штампуванні* змінний струм трансформується у ток більш високої напруги, потім пропускається через випрямляч і потрапляє в так званий розрядний контур, що складається з конденсаторів і робочого іскрового зазору між електродами, що знаходяться в резервуарі з водою. Як тільки на конденсаторах досягається потенціал певної величини, відбувається пробій зазору в повітряному розряднику і накопичена в конденсаторах електроенергія дуже швидко виділяється у вигляді іскрового розряду в робочому зазорі між електродами. Потужний іскровий розряд подібний до вибуху. У результаті

розряду в рідині виникає ударна хвиля, яка, дійшовши до заготовки, утримуваної притискним кільцем, робить на неї силовий вплив і здійснює деформування заготовки по формі матриці. Якщо для повного деформування заготовки одного імпульсу недостатньо, то робочий цикл може бути повторений. Як і при штампуванні вибухом, під заготовкою в порожнині матриці створюється вакуум.

Електрогідравлічне штампування застосовується на багатьох операціях листового штампування для виготовлення таких невеликих і середніх розмірів (до 1000-1500 мм, товщиною до 3 мм) деталей, як різні елементи жорсткості, окантовки, напівпатрубки, закінцівки, обичайки, обтічники і т.д.

Процес відрізняється імпульсним характером і високою швидкістю програми навантаження. Конденсатори розряджаються протягом 40-50 мкс і виділяють електроенергію величезної потужності, що обчислюється мільйонами джоулів в секунду; в робочому проміжку розрядника виникають тиску, рівні сотням МПа; ударна хвиля, що поширюється в рідині з високою швидкістю, несе в собі велику енергію, частина якої витрачається на корисну роботу деформування.

З точки зору фізичної суті силового впливу на заготовку електрогідравлічне штампування аналогічно штампуванню вибухом у воді. Змінювати форму ударної хвилі в цьому випадку можна шляхом зміни взаємного розташування електродів і застосування так званого ініціюючий дротик, якій з'єднує електроди в робочому зазорі розрядника. Залежно від того, застосовується або не застосовується ініціюючий дротик, електрогідравлічне штампування поділяється на два способи.

Якщо електроди з'єднані дротиком, то при розряді компенсаторів внаслідок великої потужності виділеної енергії „вибухає” дротик, по якому проходить струм в кілька тисяч ампер, і перетворюється на пару за час, обчислюваний мікросекундами. При цьому вздовж осі дротика виникає газовий канал з величезним тиском, що обумовлює миттєве розширення пари і виникнення потужної ударної хвилі, яка аналогічна хвилі, що виникає при підриві заряду лінійної форми. Вибухаючий дротик дає можливість керувати напрямком і формою ударної хвилі. Застосування ініціаторів розряду у вигляді дротиків (з алюмінію, вольфраму, танталу і інших металів) дозволяє, крім того, в кілька разів зменшити робочі напруги. Але слід зауважити, що підключення дротиків до електродів подовжує робочий цикл.

При виготовленні деталей з листових матеріалів набули поширення преси для електрогідравлічної штампування, розроблені НІАТ. Такі преси та установки різної потужності, найбільш широко використовувані в авіаційній промисловості.

Вимоги до технологічного оснащення при електрогідравлічному штампуванні приблизно такі ж, як і при штампуванні вибухом. Для багатосерійного виробництва та для штампування деталей з калібруванням, матриці та інші елементи установок повинні бути виконані з міцних сталей. Для досвідченого і дрібносерійного виробництва можна застосовувати дешевші і легко оброблювані матеріали.

Головними недоліками електрогідроімпульсного штампування є:

- обмежена енергоємність установки;
- невисока стійкість електродів;
- велике розсіювання енергії ударної хвилі.

Електромагнітне штампування аналогічне електрогідравлічному штампуванню, проте принцип перетворення електричної енергії, накопиченої в конденсаторах, в необхідну для штампування механічну енергію відрізняється.

Електромагнітне штампування засновано на перетворенні електричної енергії в механічну за рахунок імпульсного розряду конденсаторів через соленоїд, навколо якого при цьому виникає магнітне поле високої потужності, наводить вихрові струми в трубчастій або листовій струмопровідній заготовці. Взаємодія вихрових струмів з магнітним полем створює механічні сили, які виробляють деформування заготовки по пуансону або матриці.

Застосовувані для електромагнітної штампування установки пристосовані, головним чином, для деформування трубчастих заготовок і виготовлення різних з'єднань труб, проте головним недоліком електромагнітної штампування є низька стійкість індукторів. З проведеного аналізу в галузі динамічних високошвидкісних процесів із застосуванням різних енергоносіїв видно, що використання штампування вибухом (порохових установок) для формоутворення деталей з листових заготовок і труб є одним з важливих напрямків в галузі машинобудування.

Отримання заготовок методом магнітно-імпульсної обробки металів

Фізичні основи процесу

Магнітно-імпульсна обробка металів (МІОМ) заснована на безпосередньому перетворенні попередньо накопиченої електричної енергії в роботу пластичної деформації.

Сутність МІОМ полягає у тому, що запасена в батареї конденсаторів електрична енергія розряджається на робочий інструмент-індуктор, що представляє собою котушку-соленоїд. У момент розряду по індуктору протягом мільйонних часток секунди протікає імпульсний струм в десятки і навіть сотні килоампер. Навколо витків індуктора виникає змінне

магнітне поле високої напруженості. При цьому у розміщеній в безпосередній близькості від витків індуктора металевої заготовки, внаслідок дії закону електромагнітної індукції, наводяться вихрові струми, які мають напрямок, протилежний току в індукторі. Взаємодія між протилежно спрямованими струмами призводить до електродинамічного впливу - виникненню механічних сил відштовхування. Міцний індуктор залишається незмінним, а заготовка, відштовхуючись від нього, деформується відповідно до профілю поля, або по формі оснащення - матриці, оправці, розташованій з протилежного боку. Залежно від форми індуктора (циліндричний соленоїд або плоска спіраль Архімеда) розрізняють схеми магнітно-імпульсної обробки циліндричних або плоских заготовок. При обробці трубчастих зразків можливі схеми деформування „на обтиск” і „на роздачу”. Форма індуктора може бути і складнішою як по перетину, так і за твірною, що дозволяє обробити заготовки овальної, конусної, прямокутної та інших конфігурацій.

Перевагами магнітно-імпульсної обробки (МІОМ) є:

- відносна нескладність устаткування і оснащення (в порівнянні з механічними пресами і верстатами аналогічної продуктивності);
- велика технологічна гнучкість (відсутність передавального середовища);
- можливість поєднати формоутворення з нагріванням;
- можливість з'єднання різних матеріалів;
- висока продуктивність;
- можливість легкої автоматизації та механізації технологічного процесу;
- можливість отримання високих тисків (до 108 Н/м без руйнування індуктора);
- висока культура виробництва і простота обслуговування.

Технологічні можливості магнітно-імпульсної обробки металів

Застосування магнітно-імпульсної обробки робить можливим штампування листових і трубчастих заготовок товщиною до 5 мм. Розміри заготовок (діаметр, оброблювана площа) обумовлюються запасом енергії установки, товщиною оброблюваного матеріалу, конструктивними можливостями індуктора і технологічного оснащення.

Найбільш ефективно магнітно-імпульсним методом обробляються заготовки з міді, алюмінію, магнію та їх сплавів.

Заготовки з вуглецевих (Ст3, Ст10) і легованих (1Х18Н9Т, 30ХГСА) сталей, а також з титанових сплавів можна обробляти тільки зі застосуванням прокладок-„супутників”, виготовлених, наприклад, з відпаленої міді марки М1.

За типом застосованого інструменту і за характером деформації оброблюваної заготовки всі операції, виконувані на магнітно-імпульсних установках (МІУ), можна розділити на три схеми: роздача, листова формовка та обтискання.

Установлено, що з використанням магнітно-імпульсної обробки можливе отримання біметалевих з'єднань, виготовлення шарнірних з'єднань, зварювання трубчастих заготовок, запресовування труб в дисках, трубних дошках і т.д. Також можливе з'єднання двох ізоляційних або металевих деталей шляхом „роздачі” труби з одночасною відбортовкою, отримання поперечної хвилястої і плоскої в перетині рифтовки, формоутворення виступу, поздовжню рифтовку, формоутворення конуса, кінцевої роздачі труб, відбортовки, виготовлення різьби, рифлення, калібрування, пробивання отворів, вирубки, порізки. При використанні магнітно-імпульсної обробки для листового штампування застосовуються плоскі спіральні індуктори.

Технологічні операції, що виконуються за допомогою так званої схеми „листова формовка”: складання диска з віссю, відбортовка диска, зварювання двох листів металу, напресовування втулок на осі і запресовування вкладишів в трубах, виготовлення деталей типу тарілки або днища, отримання кільцевої заготовки, поздовжня і поперечна зиговка, пуклевка, неглибока відбортовка по периферії диска, прямокутника, круглих і прямокутних отворів, формовка тороїдальних кришок, рельєфна формовка з одночасним рихтуванням недеформуємих частин заготовок, калібрування листових заготовок, пробивання отворів, вирубка і порізка.

За допомогою магнітно-імпульсної обробки за схемою „обтиск” можна виконати такі технологічні операції: з'єднання металевих деталей з керамікою, склом, пластмасою та іншими неметалевими матеріалами, опресовування кабельних наконечників, з'єднання двох проводів сполучною трубкою, опресовування наконечників на канати та шлангів високого тиску, опресовування труб на металеві наконечники, зварювання трубчастих заготовок, поперечна хвиляста, поперечна плоска в перетині і поздовжня рифтовка, формоутворення западини, формоутворення конуса, редукування труб, відбортовка, пуклевка, виготовлення різьби, рифлення, калібрування, пробивання отворів і вирубка, порізка труб.

До недоліків (МІОМ) і її установок можна віднести:

- складність отримання деталей з глибокою витяжкою оброблюваного матеріалу;
- необхідність в проміжних металевих прокладках-„супутниках” для металів з низькою електропровідністю;
- обмеженість форми і геометричних розмірів оброблюваних заготовок для магнітно-імпульсної обробки;

- низька стійкість індукторів, особливо при обробці сталевих заготовок.

Ударне штампування

Суть *ударного штампування* полягає в деформуванні заготовки імпульсом тиску, створеного в обмеженому об'ємі рідини ударом по ній твердого тіла (бойка), попередньо розігнаного до високої швидкості. У якості середовища можливе використання еластичного матеріалу.

В установці ударного штампування (прес-гарматі), бойок розганяється за рахунок енергії порохових газів. У верхній частині стовбура гармати розташований патрон і бойок. У нижній частині над заготовкою височить стовп рідини. При спрацьовуванні патрона порохові гази розганяють бойок до певної швидкості і б'ють їм по рідині, створюючи потужний імпульс тиску, який деформує заготовку [44].

В інших установках енергоносієм може бути стиснений газ. Стиснений газ, розширюючись, розганяє по стовбуру бойок. Швидкість руху бойка досягає 150 м/с. В результаті бойок створює потужний імпульс тиску, який штампує заготовку на матриці. Енергія удару регулюється зміною тиску стисненого газу в акумуляторі.

Роль передавального середовища в установках ударного штампування може виконувати еластичний матеріал, наприклад поліуретан.

У порівнянні з традиційною штампуванням, ударна штампування має такі переваги:

- можна отримувати деталі складної форми з труднодеформованих матеріалів за один перехід;
- легкість управління формою імпульсу тиску;
- простота конструкції та низька собівартість оснащення;
- низька металоємність обладнання.

У порівнянні з іншими імпульсними методами ударне штампування має такі переваги:

- простий і доступний енергоносіє (наприклад, стиснене повітря заводської пневмосіті);
- високий ККД процесу (до 40%);
- просто вирішуються питання техніки безпеки;
- кращі санітарно-гігієнічні умови.

Ударне штампування дозволяє виконувати практично всі операції листового штампування (формовку, вирубку, витяжку, калібрування, карбування, роздачу, пробивання-вирубку та ін.)

Контрольні питання для самоперевірки

1. Суть штампування вибухом.

2. Переваги штампування вибухом.
3. Недоліки штампування вибухом.
4. Електрогідравлічне штампування.
5. Переваги електрогідравлічного штампування.
6. Недоліки електрогідравлічного штампування.
7. Електроімппульсне штампування.
8. Переваги електроімппульсного штампування.
9. Недоліки електроімппульсного штампування.
10. Суть магнітно-імппульсної обробки металів (МІОМ).
11. Переваги магнітно-імппульсної обробки металів.
12. Недоліки магнітно-імппульсної обробки металів.
13. Суть ударного штампування.
14. Види середовищ при ударному штампуванні.
15. Переваги ударного штампування.

Додаток 1.

Створення бази даних програмного засобу „САПР Виливок”

База даних програмного засобу „САПР Виливок” представлятиме собою набір взаємозв’язаних таблиць, призначених для розрахунку необхідних припусків, напусків, ливарних уклонів та т. ін. Таблиці взяті із офіційних джерел, таких як ГОСТ 26645-85 „Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку” [14].

Зокрема, створені та взаємозв’язані наступні таблиці які використовуються в даному випадку (ГОСТ 26645-85):

- табл. 1. Допуски лінійних розмірів виливків змінюваних й незмінюваних обробкою, наведених в залежності від інтервалів номінальних розмірів та відповідного класу точності. Допуски розмірів, утворених однією частиною ливарної форми, або одним стрижнем, встановлюють на 1, 2 класу точніше. Допуски розмірів, утворених трьома і більше частинами ливарної форми, кількома стрижнями або рухомими елементами форми, встановлюють на 1, 2 класу грубіше.

- табл. 2. Допуски форми й розміщення поверхонь виливків (відхилення від прямолінійності, площинності, паралельності, перпендикулярності, заданного профіля) для степенів жолоблення елементів виливка відповідного номінального розміру нормованої ділянки виливка. За номінальний розмір нормованої ділянки при визначенні допусків, форми і розташування слід приймати найбільший з розмірів нормованої ділянки елементів олики, для якої регламентуються відхилення форми і розташування поверхні.

- табл. 6. Значення загального припуску на сторону (мм), для кожного інтервалу загальних допусків ряду припусків виливка в залежності від співвідношень між необхідною точністю обробленої поверхні деталі і вихідною точністю поверхні виливка. Значення припусків, приведенних в табл. 6, являються предельными для установлення норм точности. Допускається призначення зменшених величин припусків порівняно з рекомендованими, а при необхідності - збільшених величин припусків з уточненням ступеня точності поверхні, класу точності розміру від бази або ступеня викривлення поверхні.

- табл. 9. Класи розмірної точності виливка в залежності від його типу, найбільшого габаритного розміру та технологічного процесу отримання виливка;

- табл. 11. Ступені точності поверхонь виливків, які відповідають типу виливка, технологічному процесу лиття, та найбільшого габаритного розміру виливка.

Створення таблиць здійснюємо в редакторі DatabaseDesktop, тип таблиць – Paradox7. На рис. 1. показані вікна редактора DatabaseDesktop зі створюваними у ньому таблицями: General.db та Classes_of_size.db

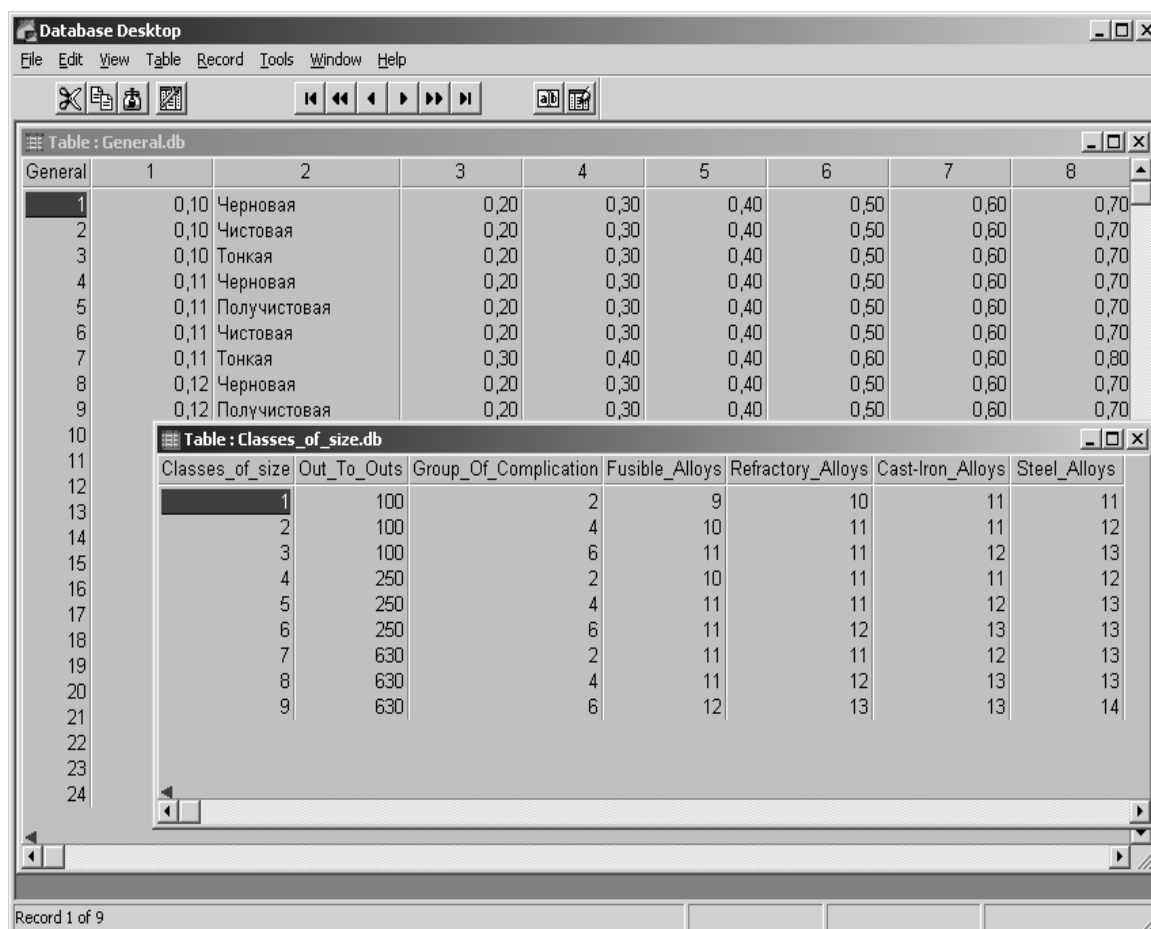


Рис. 1. Редактор DatabaseDesktop та створювані у ньому таблиці

На формі модуля розрахунку виливка розмістимо наступні компоненти:

DataSource1 : TDataSource;

Table1 : TTable;

Query1 : TQuery;

А також самостійно інсталювані:

AcadAcCmColor1 : TAcadAcCmColor;

AcadSortanceTable1 : TAcadSortanceTable;

AcadTableStyle1 : TAcadTableStyle;

AcadDatabase1 : TAcadDataBase;

AcadDocument1 : TAcadDocument;

AcadLayerStateManager1 : TAcadLayerStateManager;

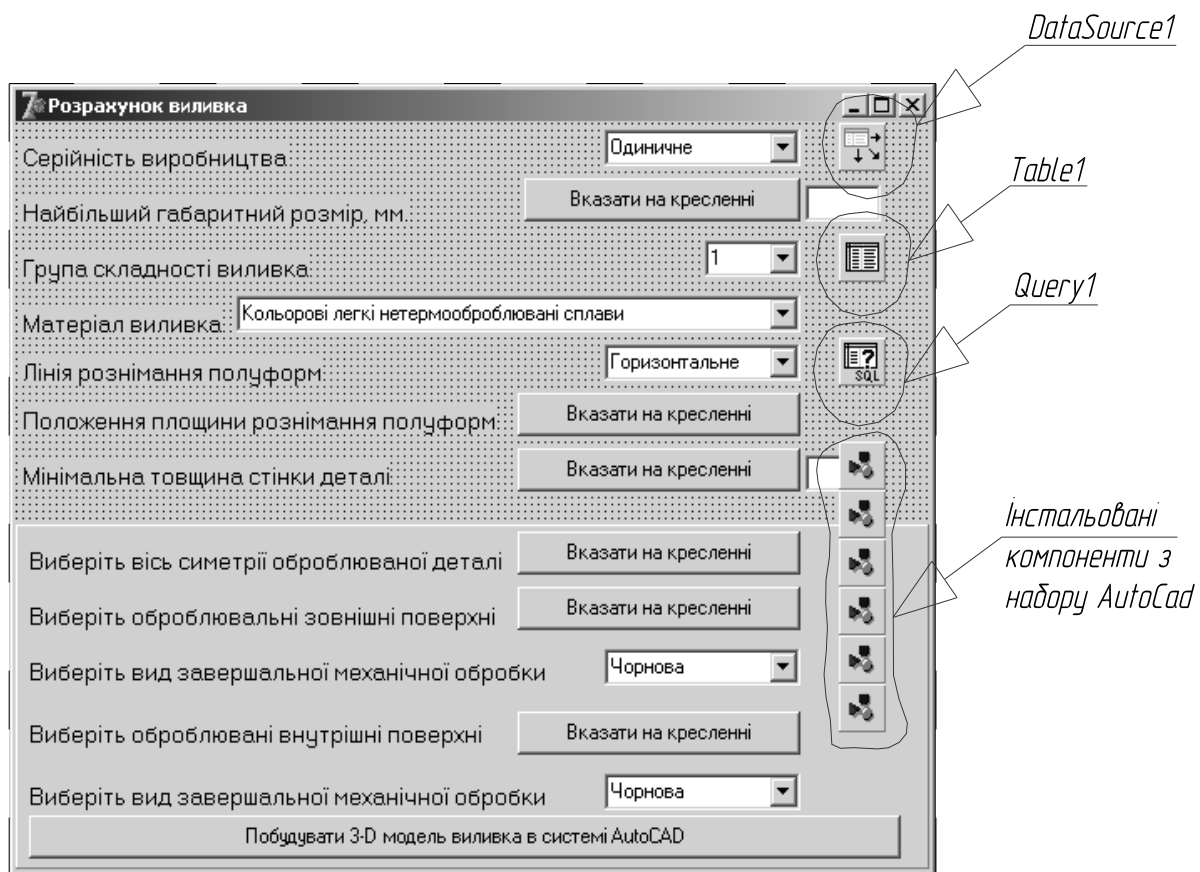


Рис. 2. Розміщення на формі невидимих компонентів для управління базами даних та роботою з системою AutoCad

Створена локальна база даних розміщується на тому ж комп'ютері, що програмний засіб, який їх обробляє. В такому випадку інформаційна система буде мати локальну архітектуру, (див. рис. 6.5.3)

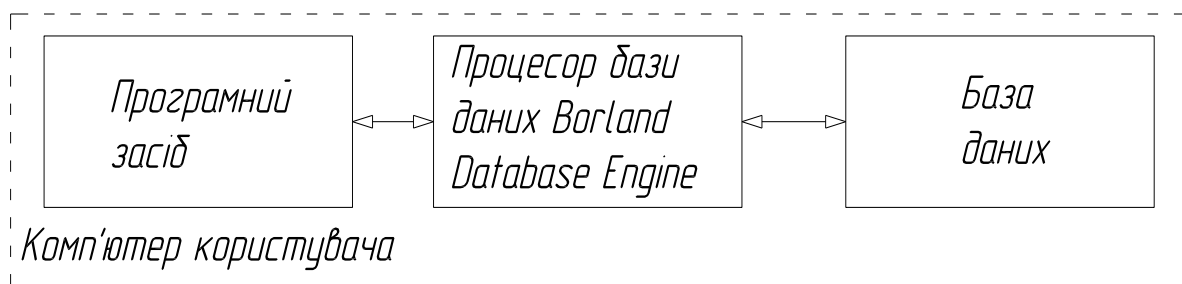


Рис. 3. Локальна архітектура інформаційної системи

Приклад проектування литої заготовки з допомогою створеного програмного засобу деталі типу „Ступиця”

Креслення деталі з вихідними умовами представлено нижче:

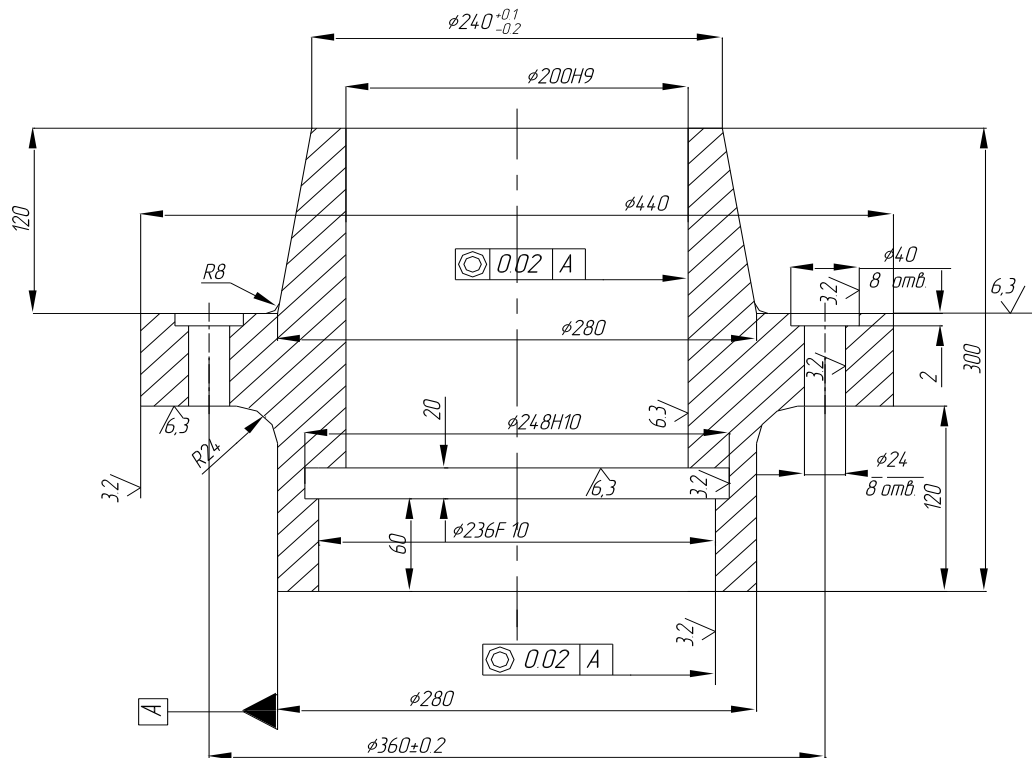


Рис. 4. Креслення деталі

Запускаємо програмний засіб, вибираємо пункт меню „Файл - Новий”. З’являється вікно „Нова деталь” у якому і виконуємо креслення, показане на рис. 4. Готове креслення деталі представлено на рис. 5.

Вибираємо пункт меню „Розрахунок виливка”. Після цього з’являється вікно модуля розрахунку виливка, дивись рис. 6, в якому задаємо всі необхідні параметри, які стосуються деталі та майбутнього виливка.

Натискаємо на кнопку „Побудувати 3-D модель у системі AutoCad”. Після цього автоматично завантажується система автоматизованого проектування AutoCad, в якій програмно будується 3-D модель виливка, дивись рис. 7.

Остаточно роздруковуємо креслення виливка з указанням його точності, штампувальних уклонів, припусків на механічну обробку, та вимоги до термообробки (Рис. 8.).

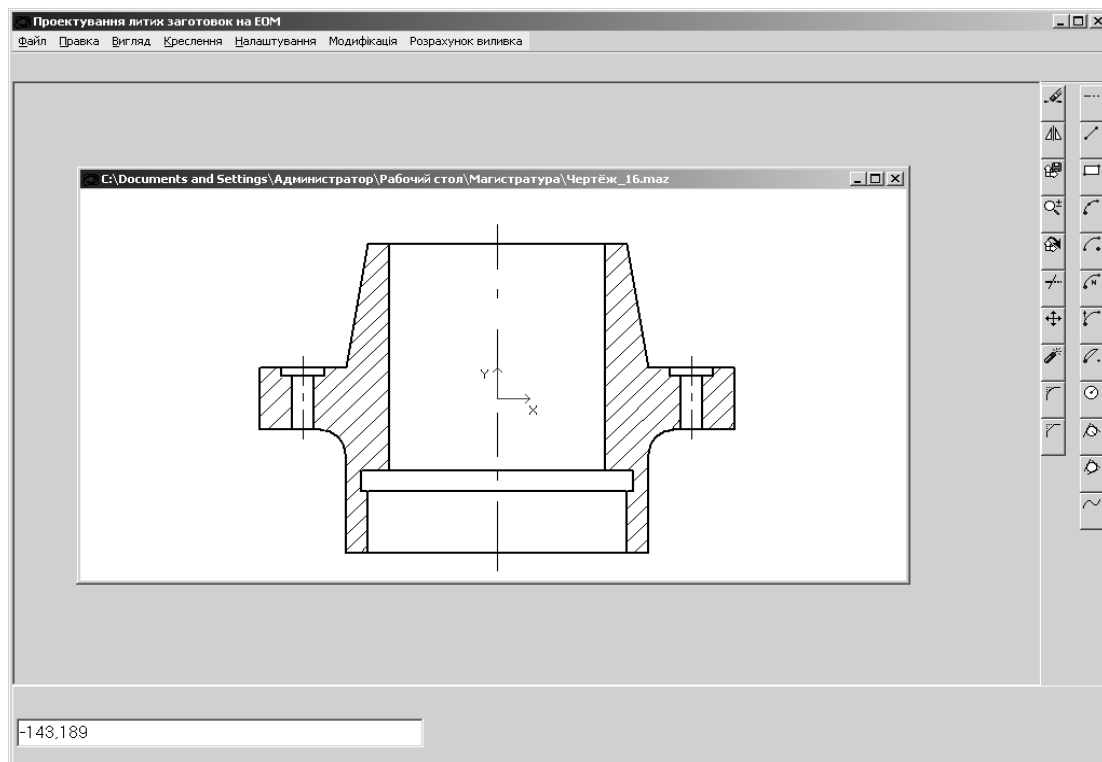


Рис. 5. Створене креслення деталі у розробленому графічному редакторі програмного засобу

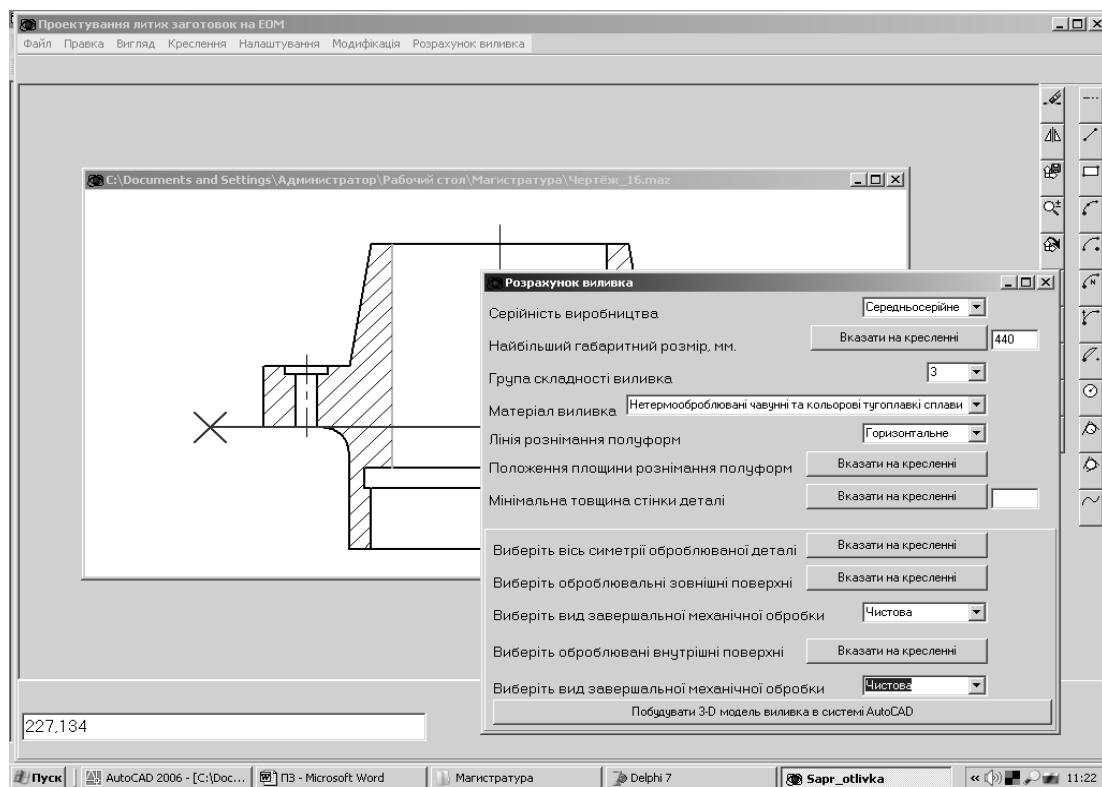


Рис. 6. Введення вихідних даних у модуль розрахунку виливка

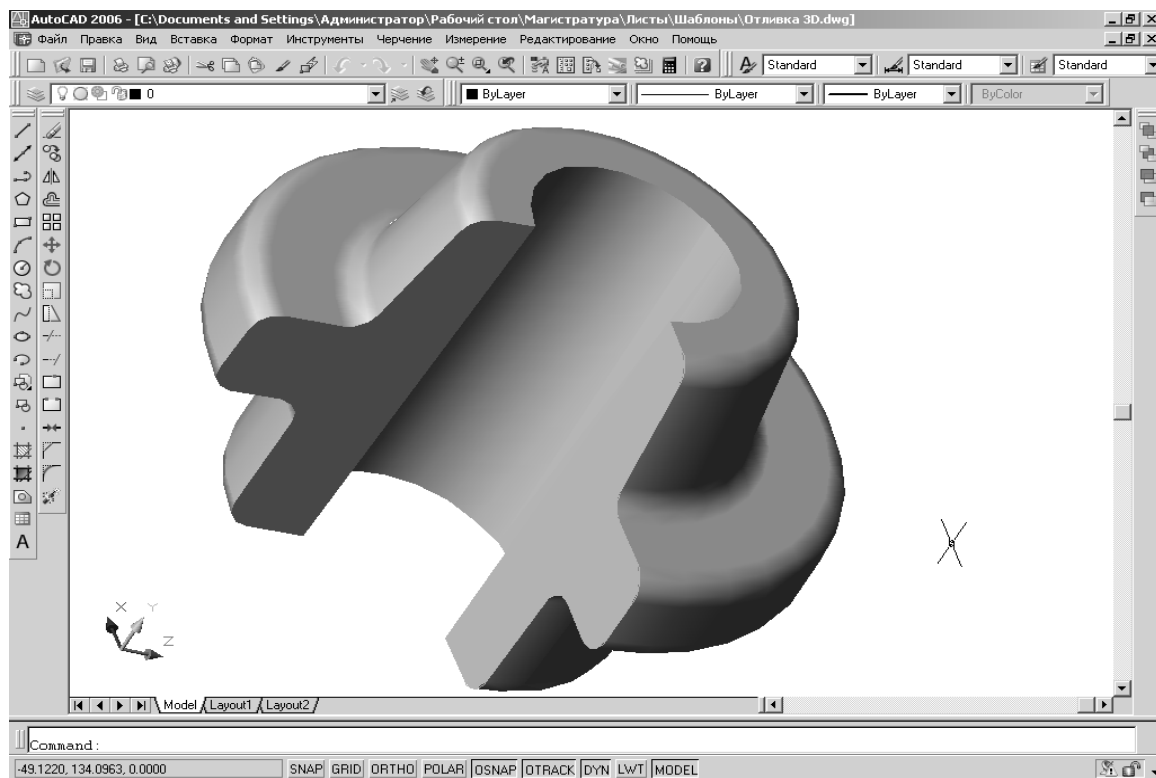
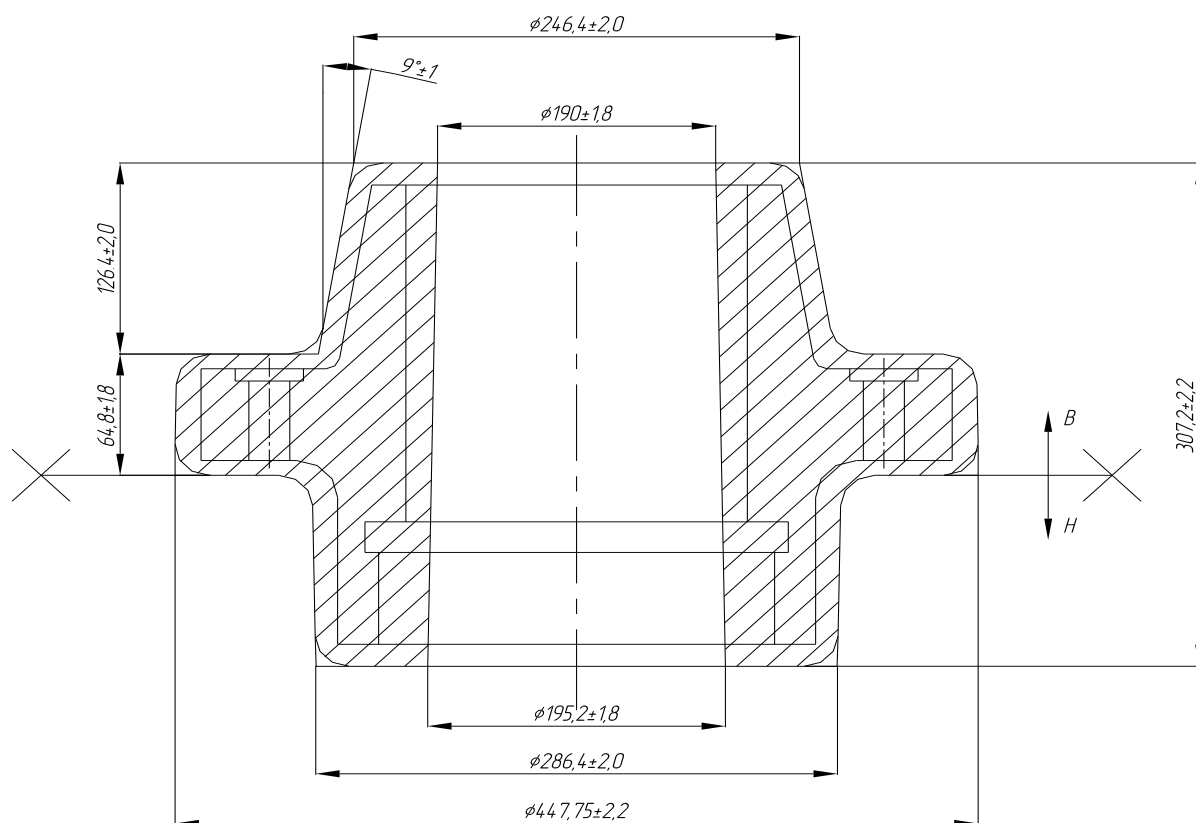


Рис. 7. Програмно створена модель виливка в системі AutoCad.

Висновки

Створений програмний засіб „САПР Виливок”, основним призначенням якого являється прискорення процесу проектування та кінцева розробка креслення заготовки за наявним кресленням деталі (в нашому прикладі тіла обертання). За допомогою цього програмного засобу скорочується час на опрацювання різноманітних таблиць, нормативних документів та т.п. завдяки наявній базі даних в програмному засобі. Одержана 3-D модель виливка дозволяє провести такі необхідні розрахунки для проектування литих заготовок як маса виливка, а отже, кількість затраченого матеріалу та ін. Створена прикладна програма може бути використана як в навчальних цілях так і в умовах виробництва.



1. Точність виливка 11т-4-14-10 зм 18 ГОСТ 26645-85.
2. Неуказані уклони виконати 1° . Неуказані радіуси виконати 3...5 мм.
3. Заготовка повинна бути очищена від пригару, ливники та рудчики видаляти врівень.
Залишки ливників висотою не більше 1 мм. По периметру рознімання (вікон) допускаються рудчики висотою не більше 1 мм.
4. На оброблюваних поверхнях допускаються дефекти, крім тріщин, що не перевищують 2/3 припуску на механічну обробку
5. На необроблюваних поверхнях допускаються окремі раковини з найбільшим виміром 3 мм, глибиною до 1 мм, у кількості не більше 5 шт.
6. Застосувати низькотемпературний відпал.

Рис. 8. Остаточне оформлене креслення виливка

**Моделювання процесу гарячого об'ємного штампування
з використанням метода кінцевих елементів**

В сучасному виробництві методи отримання поковок шляхом гарячого об'ємного штампування набувають широкого використання, оскільки дозволяють отримати заготовки з покращеними фізико-механічними властивостями, близькими за формою та розмірами до готових деталей. Це в свою чергу, дає можливість мінімізувати габаритні та основні розміри виробів не знижуючи їх міцнісні та експлуатаційні характеристики.

Порівнюючи переваги обробки металів тиском (ОМТ) з іншими методами отримання вихідних заготовок (наприклад литтям, порошковою металургією та ін.) можна зробити висновок, що в сучасному машинобудуванні ОМТ знаходить широке використання і може розглядатися як важливий складовий елемент технології машинобудування.

Володіючи високою продуктивністю, штампування забезпечує отримання поковок з високою точністю розмірів, що суттєво зменшує витрати металу та знижує трудомісткість наступної обробки різанням, оскільки обробленню піддаються лише ті частини майбутньої деталі, які знаходяться в контакті при з'єднанні з іншими деталями [3,4,120].

Враховуючи той факт, що в залежності від ступеню складності форми отримуваної поковки можуть бути використані різні способи штампування (одно-, багаторівчачове, комбіноване і т.п.), наша задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму кількість рівчаків у штампі. Нами розглядався метод об'ємного облойного штампування отримання деталі „Корпус” на механічному пресі зусиллям 4000 кН. Температура вихідної заготовки під осадку дорівнює 1200 °С, під штампування - 1107 °С. Швидкість деформації становить 0,5...50 м/с (генерується автоматично). Ступінь деформації 0,4. Температура інструменту - 300 °С, матеріал інструменту – сталь 40Х, позиціонування відбувається в контакт без відведення пуансона назад.

Деталь „Корпус” використовується в атомній та нафтогазовій промисловості для передачі та регулювання потоку різних речовин під високим тиском і представляє собою деталь середніх розмірів, яка зображена на рис. 1.

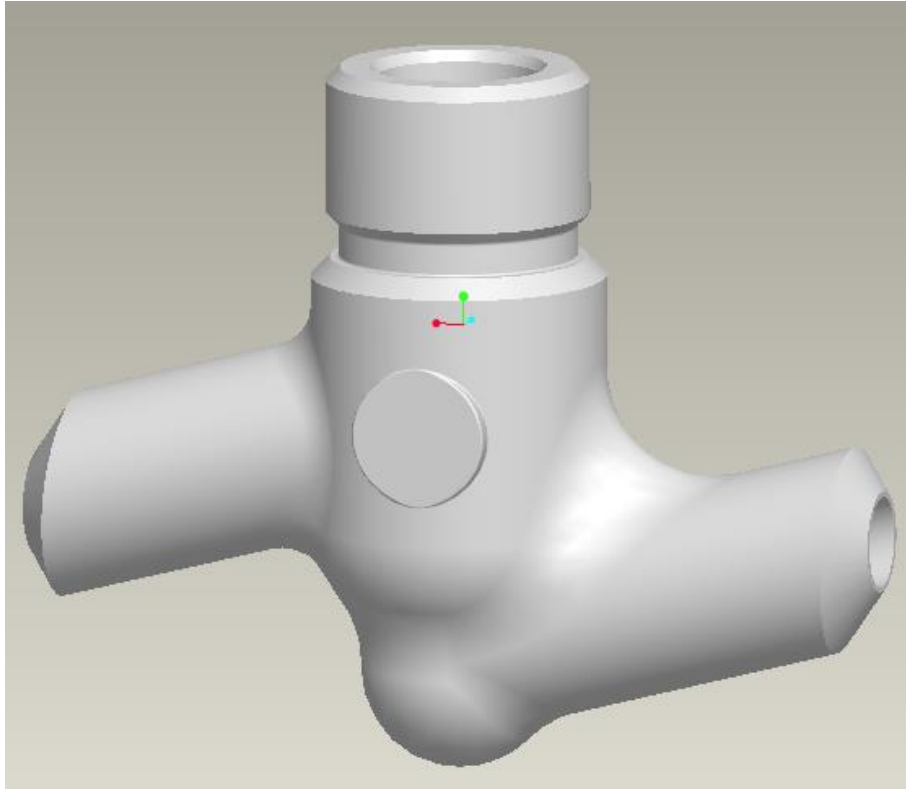


Рис. 1. Корпус CM 21002-020

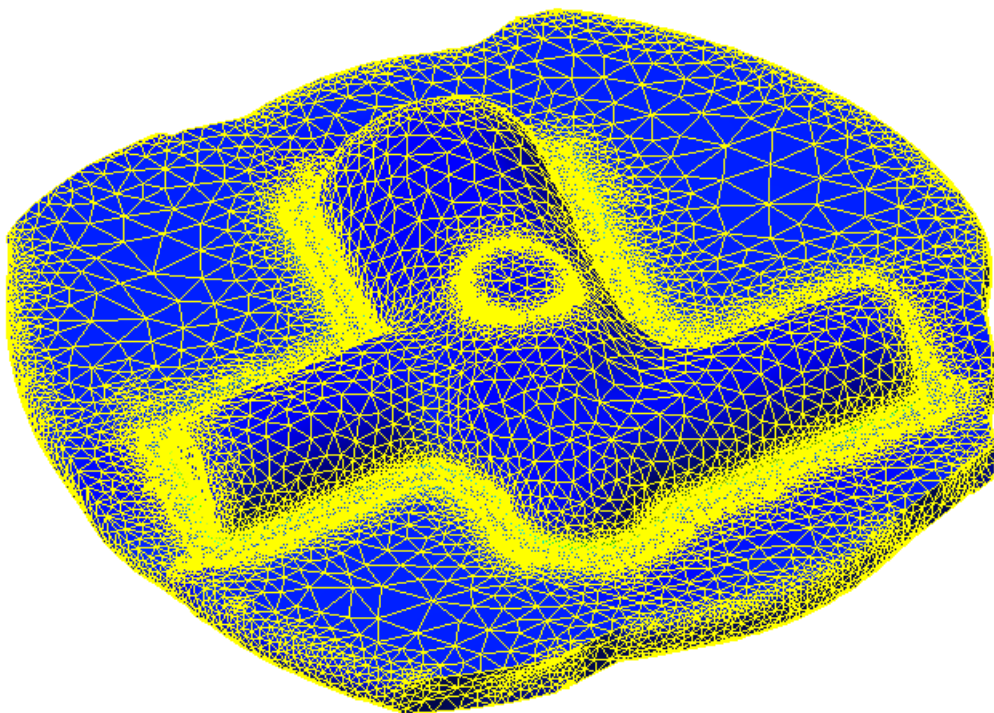


Рис. 2. Сітка кінцевих елементів, отримана на останній операції штампування

При створенні поковки деталі „Корпус” розглядалась можливість отримання її за два переходи – осадка вихідної заготовки та формоутворення корпусу (штампування в остаточному рівчаку). За класичною схемою штампування виконують за три переходи: осадка, штампування в попередньому рівчаку та штампування в остаточному рівчаку. Це скорочує технологічний процес отримання поковки та спрощує конструкцію штампа.

Рух металу при штампуванні не являється стаціонарним процесом у зв'язку зі змінною довжиною заготовки і постійно змінними умовами тертя. Таку об'ємну задачу неможливо звести до елементарних розрахунків та двовимірного моделювання процесу деформації.

Тому нами для розрахунку використовувалась сітка кінцевих елементів, яка в середині заготовки та інструменті будується на основі лінійних тетраедрів. Початкова адаптована кінцево-елементна сітка будується повністю автоматично та не потребує втручання при перебудові на протязі розрахунку. Як видно з рис. 2 сітка стає гущішою в місцях більшої кривизни. Заготовка під час розрахунку розглядається як жорстко-пластичне тіло, деформоване в неізометричних умовах [98,99].

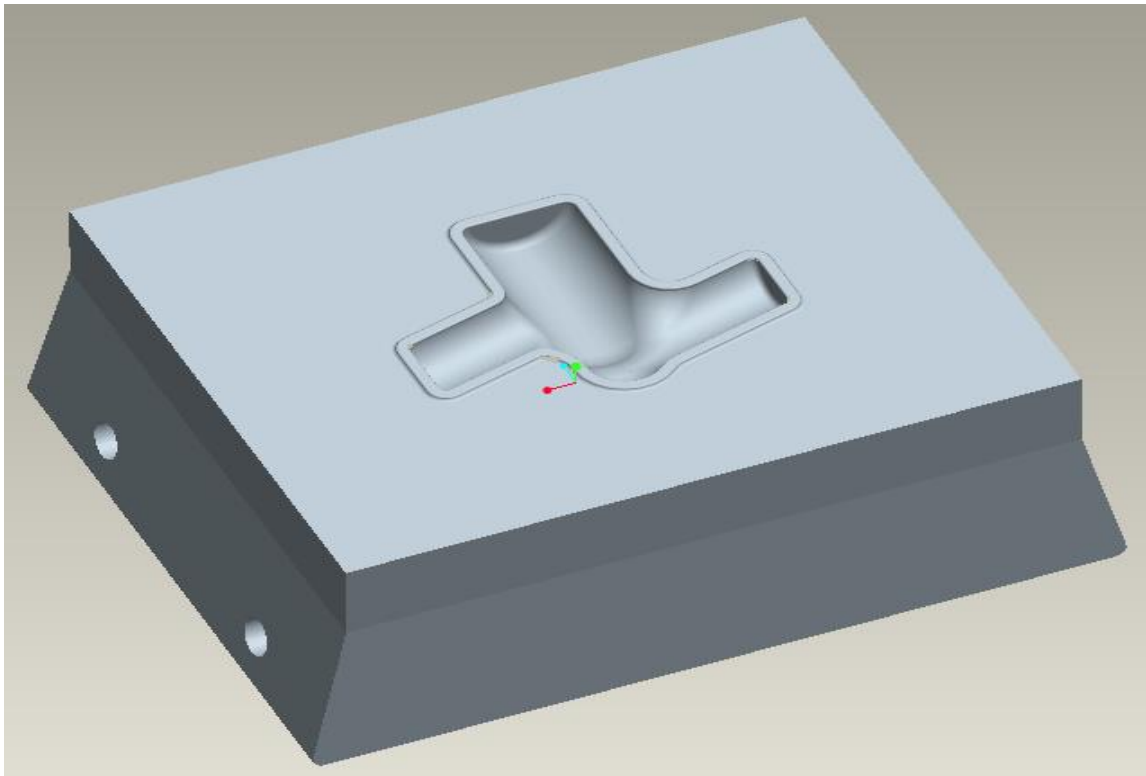
Оскільки розрахунок вимагає високої точності та візуалізації скористаємось тривимірними математичними моделями.

С цією метою була розроблена модель штампування деталі „Корпус” (рис. 1) на основі програми QFORM 3D 4.3 яка враховує великі пластичні деформації в об'ємі, обмеженому інструментами з каналами досить складної форми.

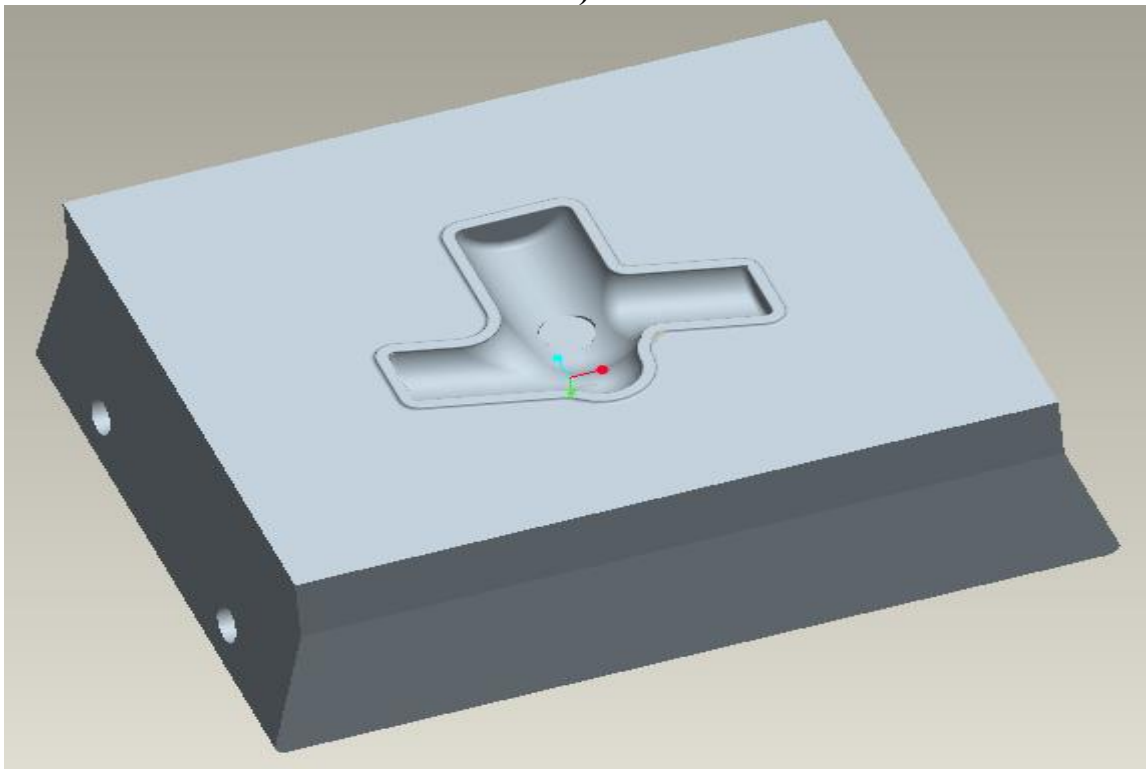
На першому етапі дослідження спочатку проводилось проектування та розрахунок поковки і заготовки згідно з усіма вимогами та стандартами. Потім за допомогою CAD/CAM/CAE системи ProEngineer було спроектовано, за результатами розрахунків, вихідну заготовку $\varnothing 63 \times 145$ та інструмент, який представлено на рис. 3 [64,107].

На другому етапі дослідження було проведено експорт побудованих моделей до програмного комплексу QFORM 3D 4.3, в якому ці моделі розбивалися на кінцеві елементи та проводились подальші розрахунки.

Також досліджувались: напружено-деформований стан (НДС) заготовки (поле накопиченої деформації), поля швидкостей деформації, перепаду температур, опору матеріалу деформації, поле середнього напруження заготовки, швидкості текучості металу по основних осьових компонентах, поле роботи деформації в заготовці. На основі проведених розрахунків спроектовано та досліджено інструмент, його зношування під час штампування, еквівалентні, об'ємні деформації та деформації за осями, також досліджено еквівалентні, середні напруження та напруження за осями інструменту.



а)



б)

Рис. 3. Інструмент для отримання поковки (а-матриця, б-пуансон)

В результаті досліджень було запропоновано удосконалення штампової оснастки, отримано точний об'єм необхідної заготовки, підтверджено доцільність використання обраного виду обладнання, запропоновано отримання даного виду деталей без використання облойної канавки. Всі результати досліджень та їх доцільність підтверджено за допомогою програмного комплексу QFORM 3D.

В роботі представлено порівняння отримання заготовки звичайним методом та методом без використання облойної канавки. Матеріал заготовки – сталь 20, заготовкою являється пруток $\varnothing 63 \times 145$ мм. Додатково розраховувався показник зносу інструменту та робота пластичної деформації.

На рис. 4 показано початкове та кінцеве положення інструменту при осаджуванні вихідної заготовки довжиною до 100 мм. Також з цього рисунка видно, що максимальна величина поля накопиченої деформації в заготовці при осадці становить 0,625.

Далі представлено розраховані параметри деталі після завершення штампування для спроектованого інструменту, які підтверджують доцільність розробленої конструкції штампу.

Як видно з рис. 5, а) розподіл температур по заготовці відбувається рівномірно і в середньому становить 1115°C . Максимальне значення температури спостерігається на кінцях патрубків і становить близько 1155°C . Поле розподілу деформації (рис. 5, б) набуває свого максимального значення на краях заготовки і його показник становить 7,5. По самій заготовці розподіл деформації відбувається рівномірно і становить в середньому 1,25.

Швидкість деформації (рис. 6, а) по всьому об'ємі заготовки розподіляється рівномірно і її середнє значення становить 7 м/с.

Максимальна швидкість деформації спостерігається в області облойного містка і становить близько 38 м/с. Розподіл опору деформації (рис. 6, б), також відбувається рівномірно і становить 57,5 МПа, максимальний опір спостерігається по краях заготовки і становить 100 МПа.

З рис. 7, а) видно, що максимальне значення середніх напруг спостерігається в облойній області заготовки (близько 25 МПа). Робота деформації, також досягає свого максимуму в області облойного містка і становить 925 МДж/м^3 .

Проаналізувавши наведені вище розраховані параметри заготовки можна сказати, що розподіл температур та швидкість деформації заготовки відбувається рівномірно, сама деформація досягає свого максимуму при проходженні облойного містка, який використовується для більш повного заповнення штампу. Розподіл опору деформації заготовки можна назвати

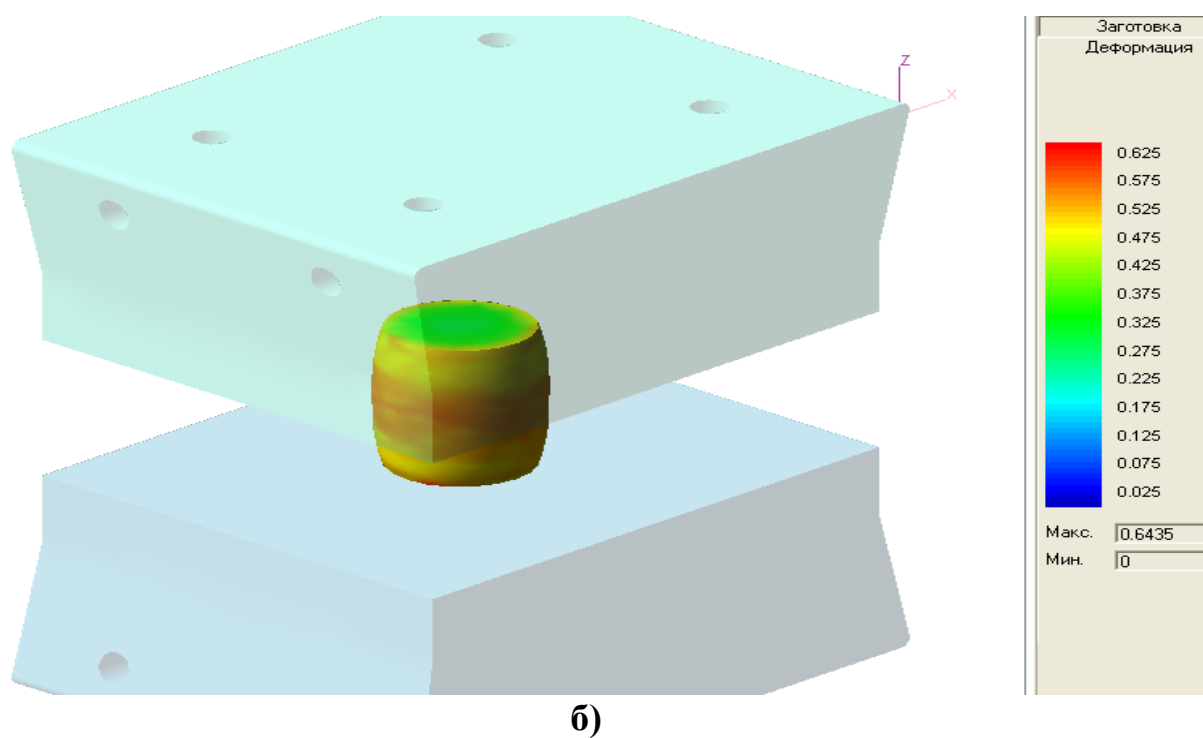
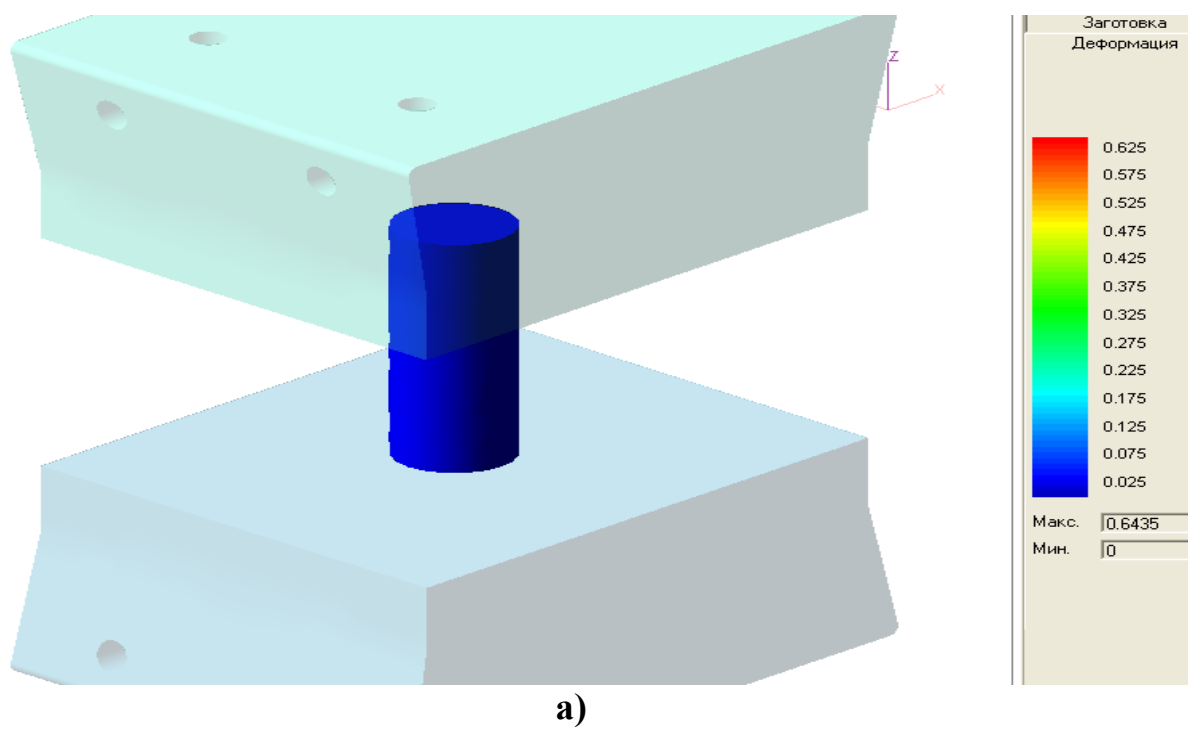
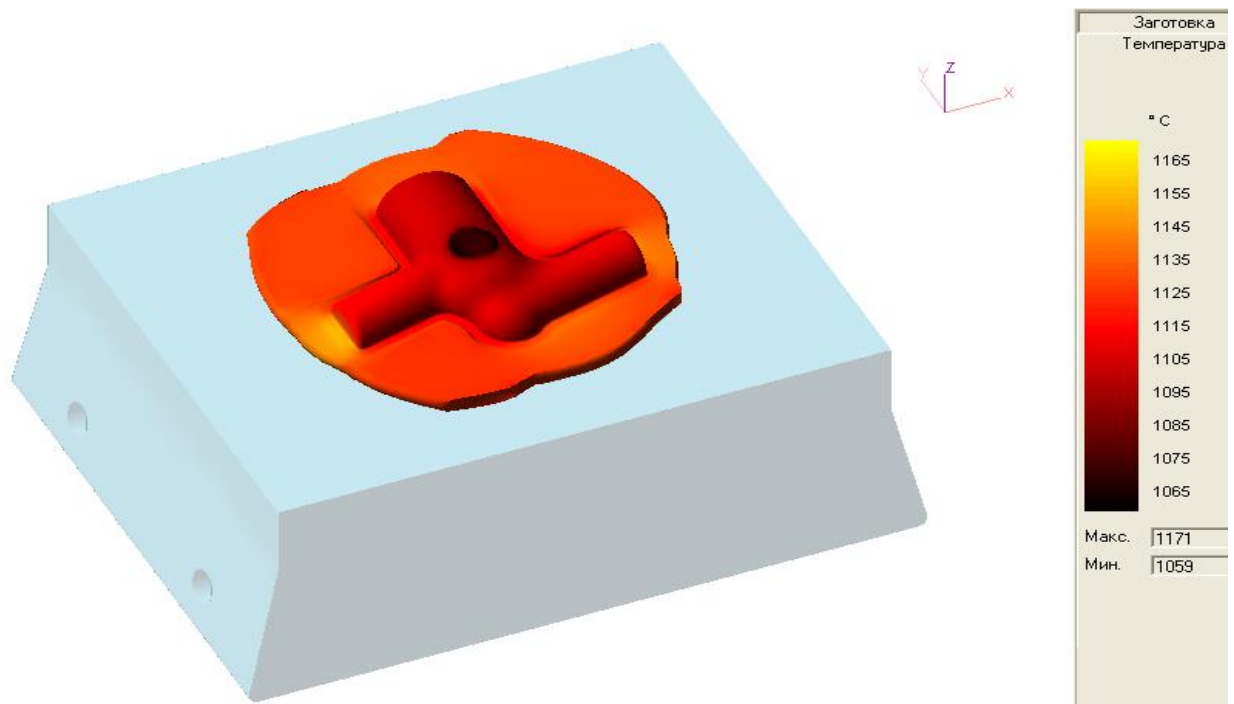
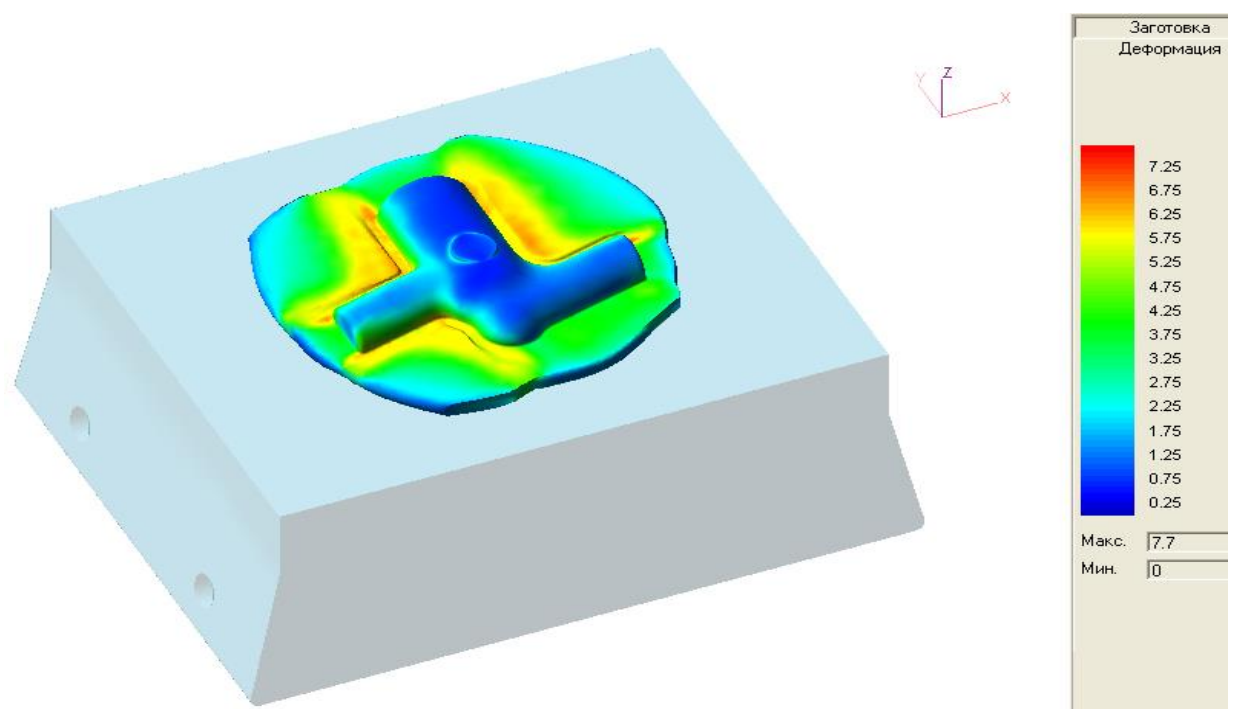


Рис. 4. Початкове (а) та кінцеве (б) положення інструменту при осаджуванні вихідної заготовки та діаграма поля розподілу накопиченої деформації

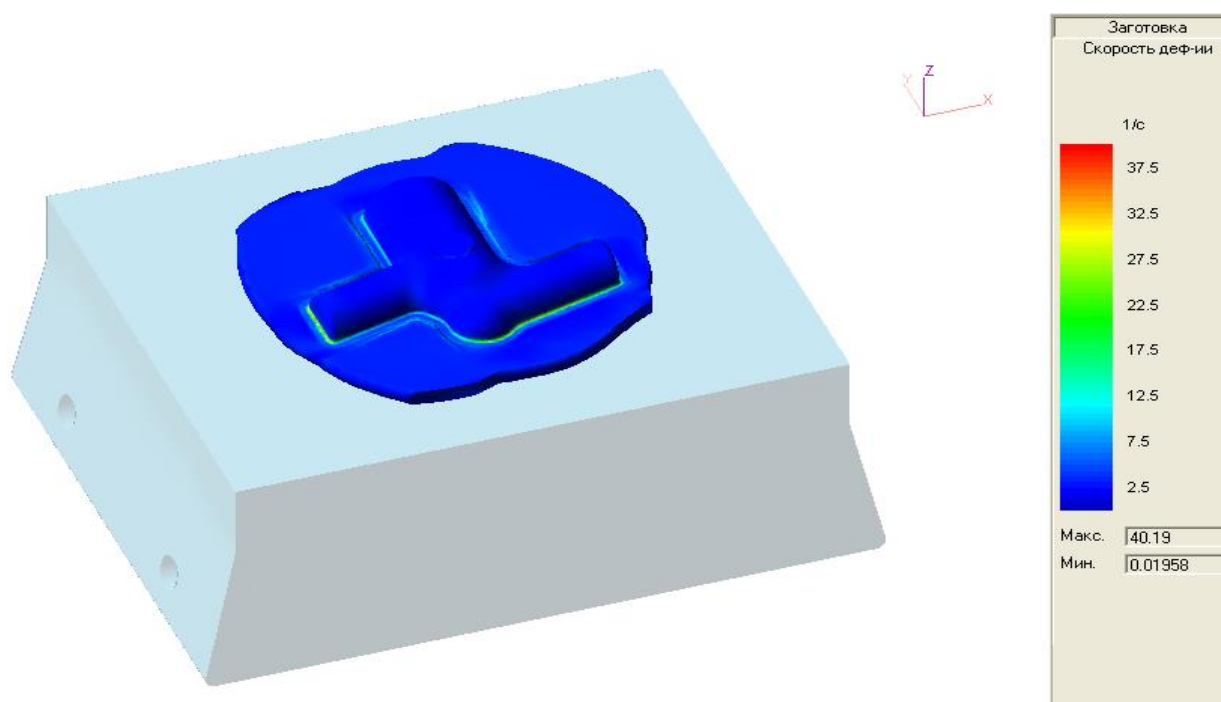


а)

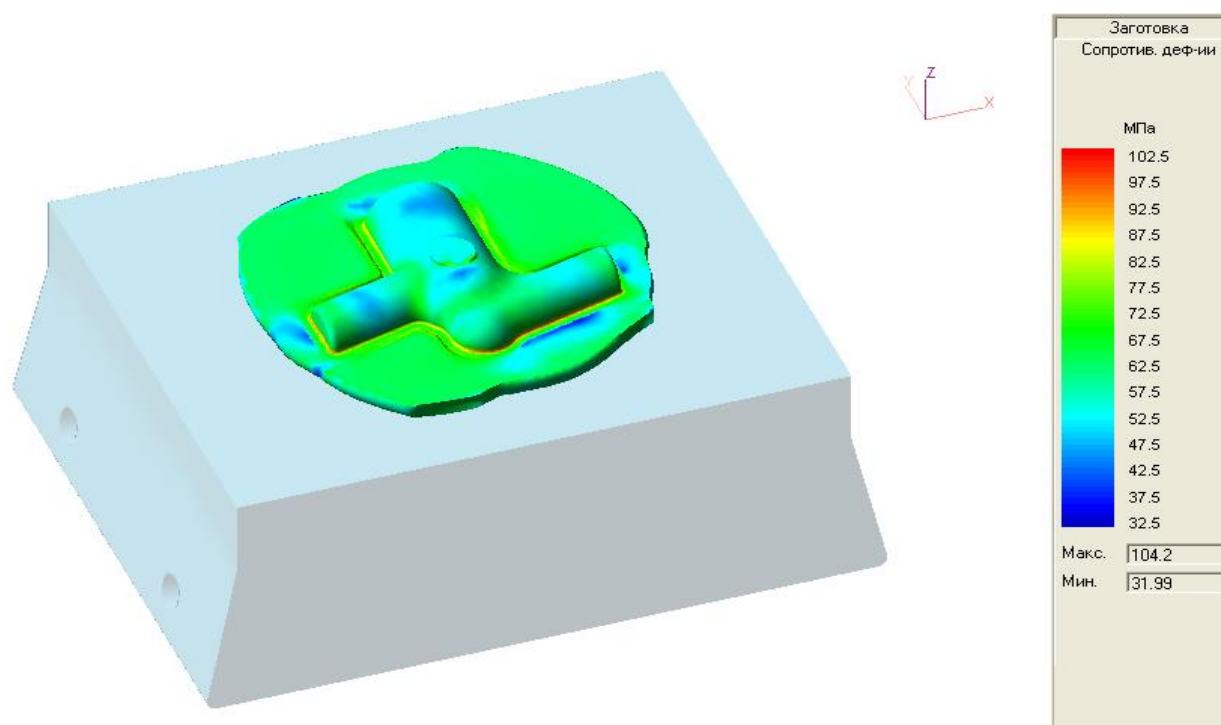


б)

Рис. 5, а). Поле розподілу температур, б). Поле розподілу деформації заготовки

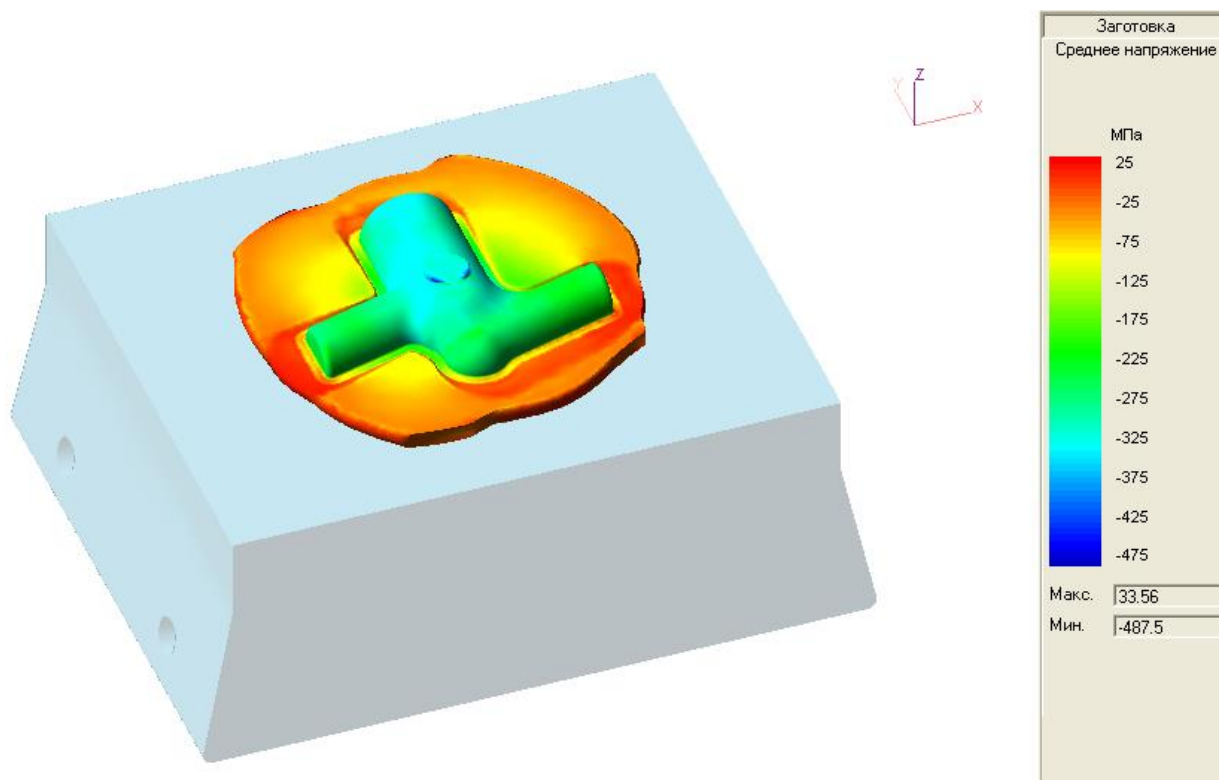


а)

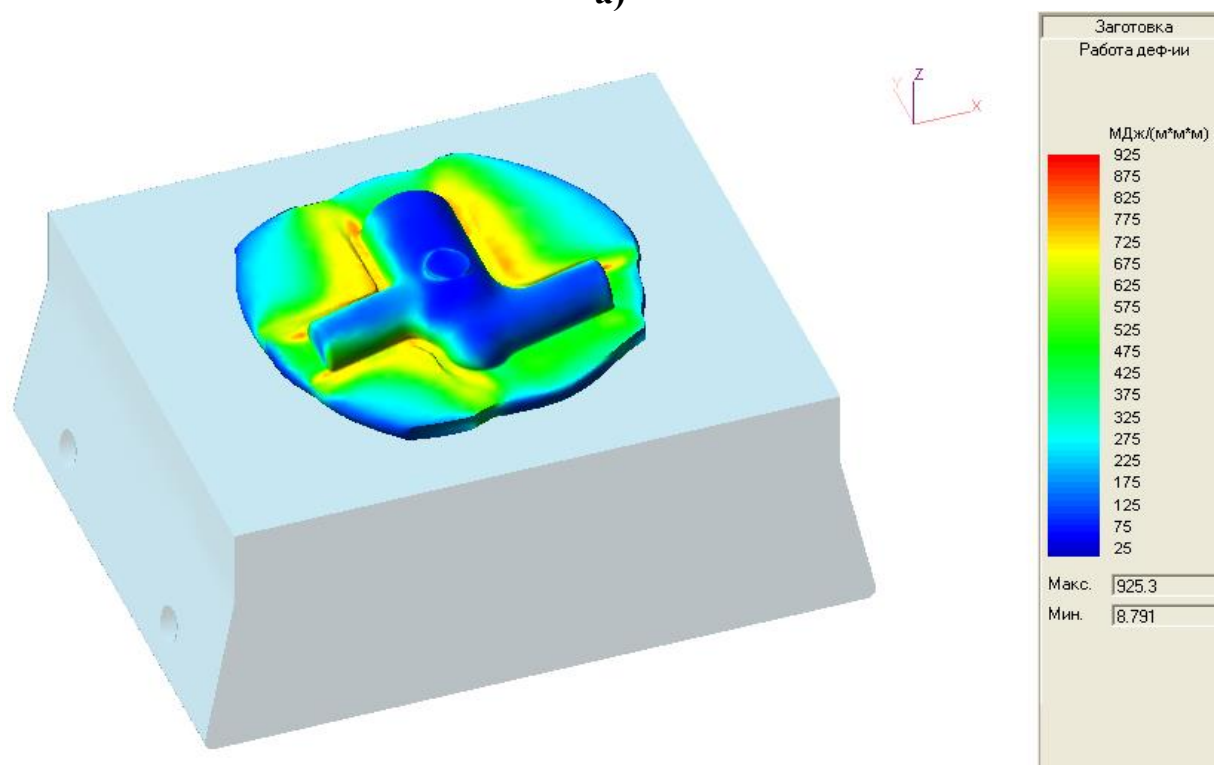


б)

Рис. 6, а). Швидкість деформації, б). Опір деформації заготовки



а)



б)

Рис. 7, а). Середні напруження в заготовці, б). Робота деформації заготовки

більш стабільним, свого сталого значення він набуває при досягненні периферії заготовки. Середні напруження та робота деформації збільшують своє значення від середини до кінця заготовки. З цього можна зробити висновок, що найбільш навантаженим елементом штампової оснастки є облойний місток, який сприймає всі перенавантаження на свою поверхню, що потребує додаткових розрахунків інструменту для однозначного визначення доцільності даної конструкції оснастки.

Для підтвердження доцільності використання спроектованого інструменту проведемо порівняння оснастки класичної та розробленої конструкцій. Оскільки інструмент повністю симетричний і кінцеві значення суттєво не будуть відрізнятися, то в якості порівнюваних елементів візьмемо нижню частину інструменту – матрицю.

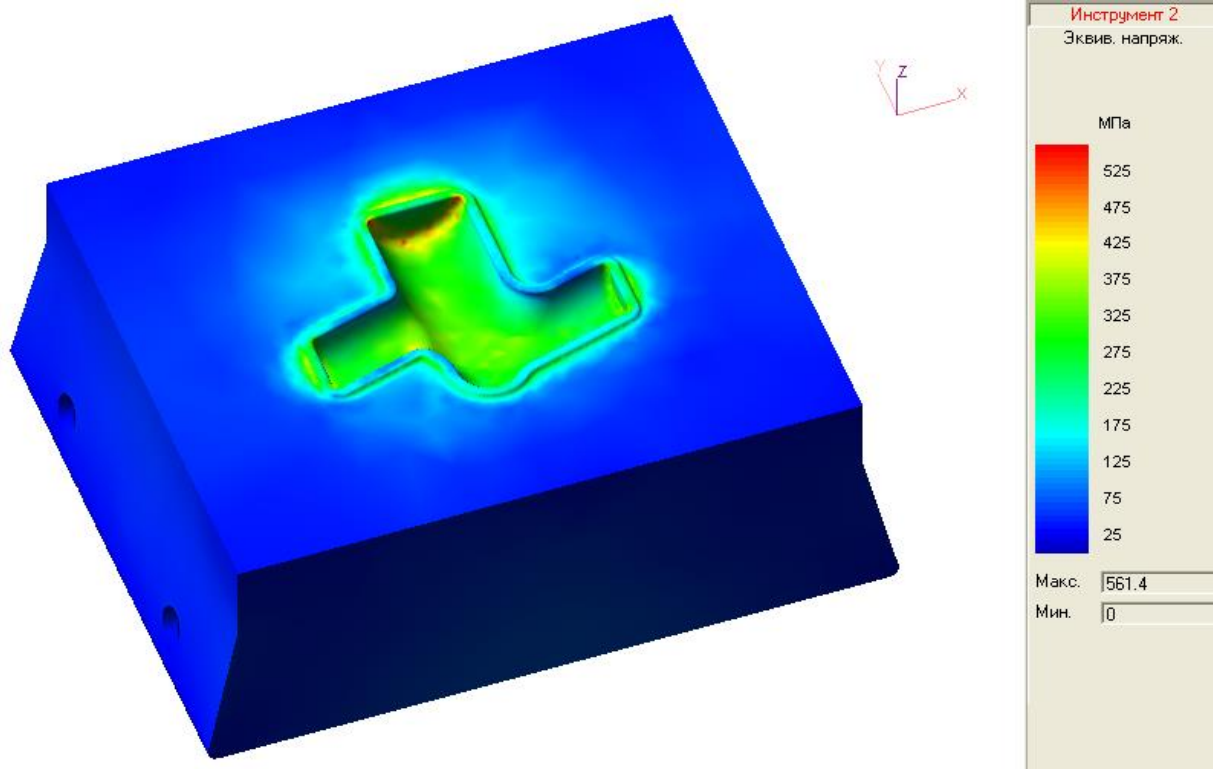
Як видно з рис. 8, а) (спроектований варіант) розподілення напружень по рівчаку відбувається рівномірно і становить близько 325 МПа, така ж величина напруг спостерігається безпосередньо за облойним містком, але на самому місткові становить близько 175 МПа.

Розподілення напружень в інструменті класичної форми по рівчаку відбувається не рівномірно і коливається в діапазоні 275-425 МПа, місток навантажений в основному по торцях інструменту, напруги в об'ємі облойної канавки не значні, але при досягненні її меж досягають 475 МПа. Також спостерігається напруга міжштампової області в тих місцях, де метал потрапив за межі облойної канавки, заповнення самого штампу відбувається нерівномірно на відміну від розробленої конструкції. Еквівалентна напруга обох штампів при цьому близько 25 МПа.

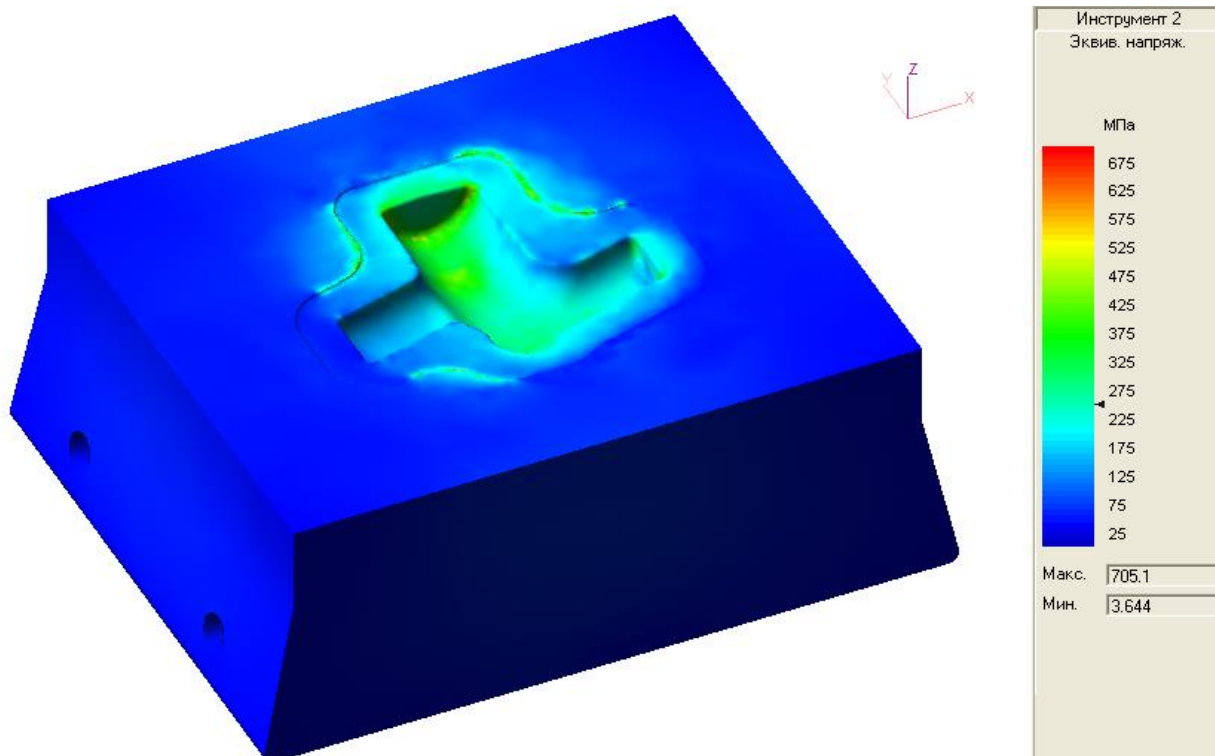
При розподілі середніх напруг в інструменті дублюється ситуація з еквівалентними напруженнями. Як видно з рис. 9, б) відбувається перенапруження зони облойної канавки за рахунок потрапляння металу в площину роз'єму штампа. У випадку із спроектованим штампом така ситуація не спостерігається, оскільки тут передбачено рух металу в міжштамповому просторі. Заповнення штампа та розподіл напружень відбувається рівномірно, що не можна сказати про інструмент класичної конструкції. При цьому середнє напруження обох штампів становить близько 25 МПа.

Як видно з рис. 8, а) та рис. 9, а) розподілення напруг по облойному містку відбувається таким чином, що найбільші напруження отримує зона, котра знаходиться безпосередньо за містком, тобто навантаження діючі на нього по значенню не максимальні, отже вони не являються руйнівними.

Максимальне значення показника зносу спостерігається на краях рівчака (в обох випадках), але для спроектованого інструменту його величина майже в 3 рази менша, ніж в інструменті класичної конструкції і

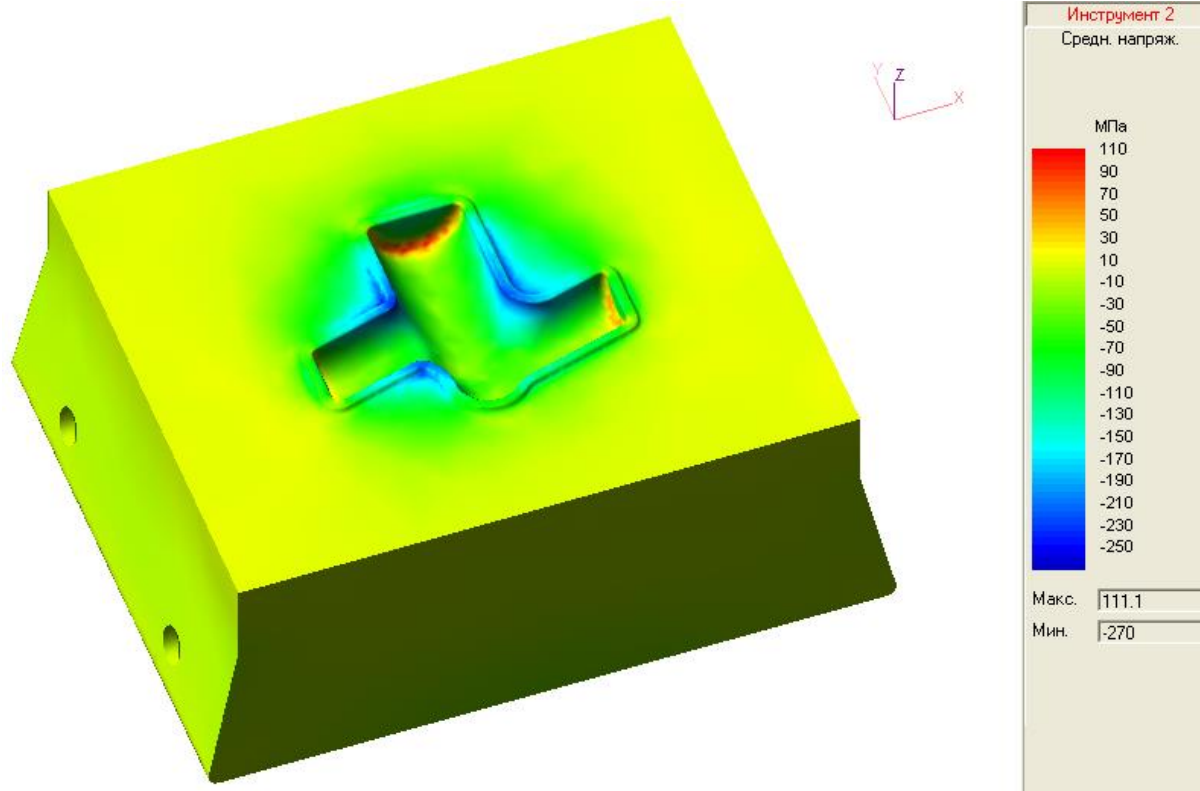


а)

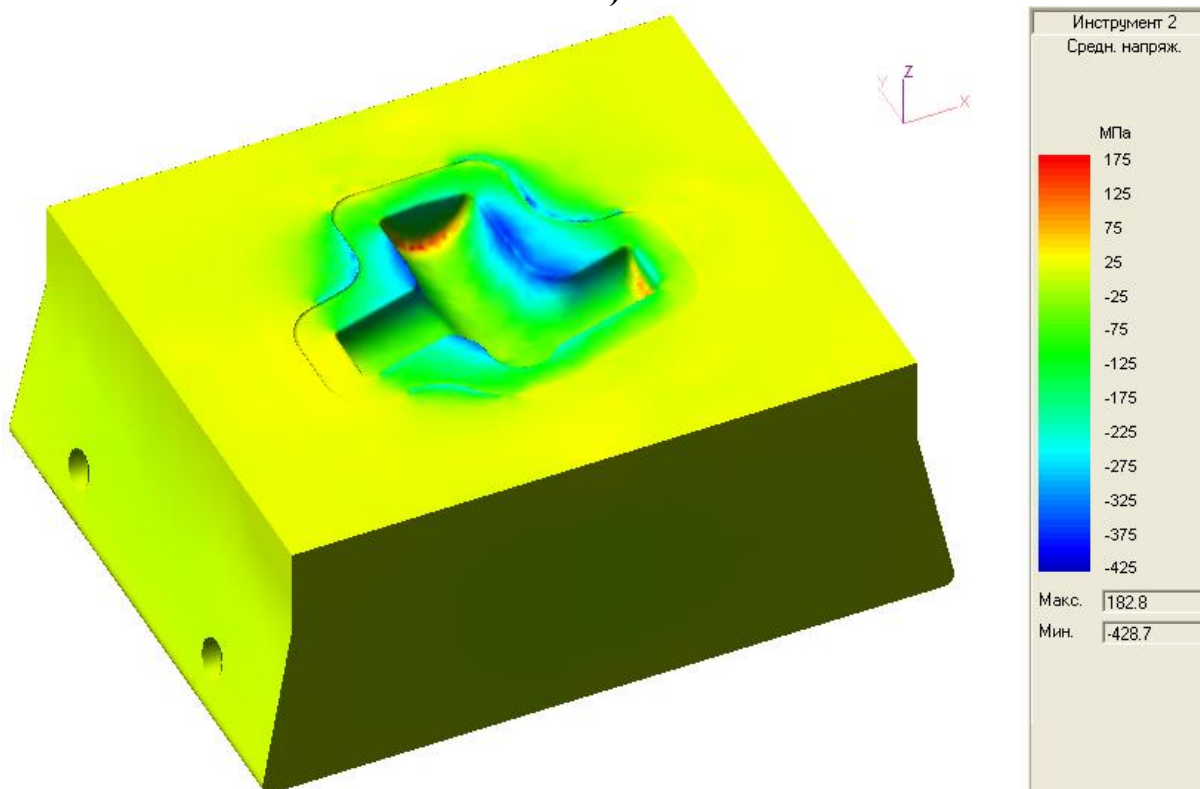


б)

Рис. 8. Еквівалентні напруження в інструменті (а – спроектований, б – класичний варіант)

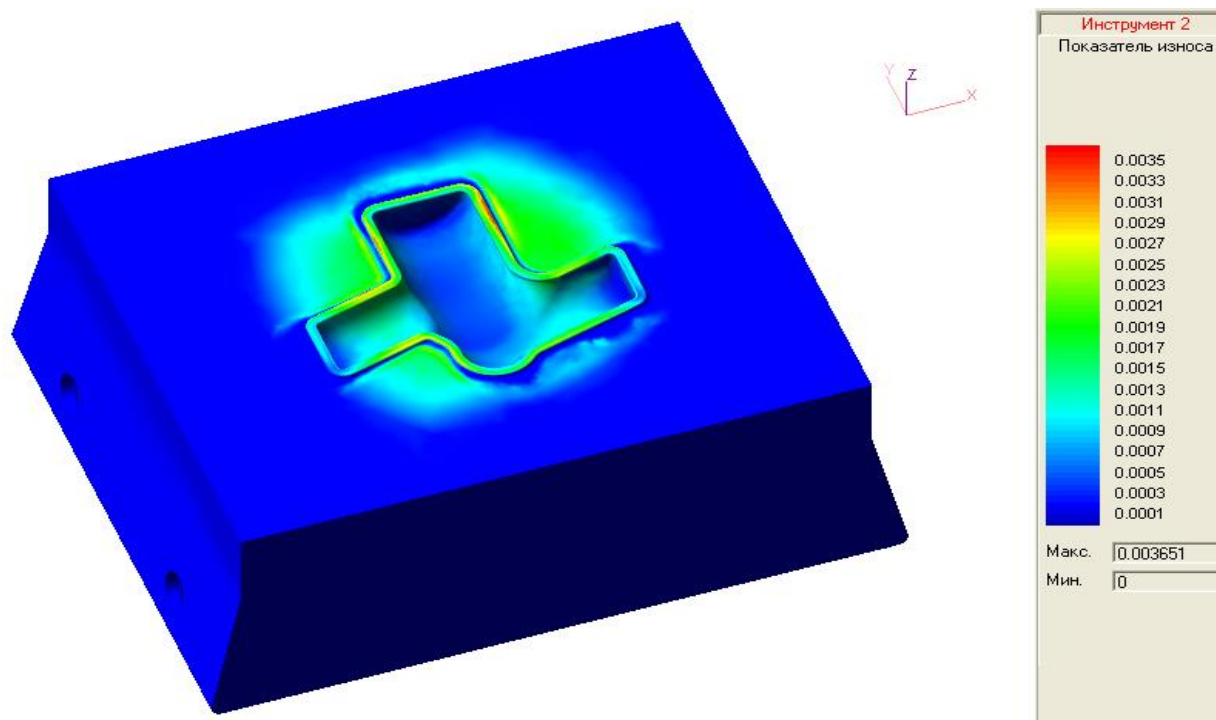


а)

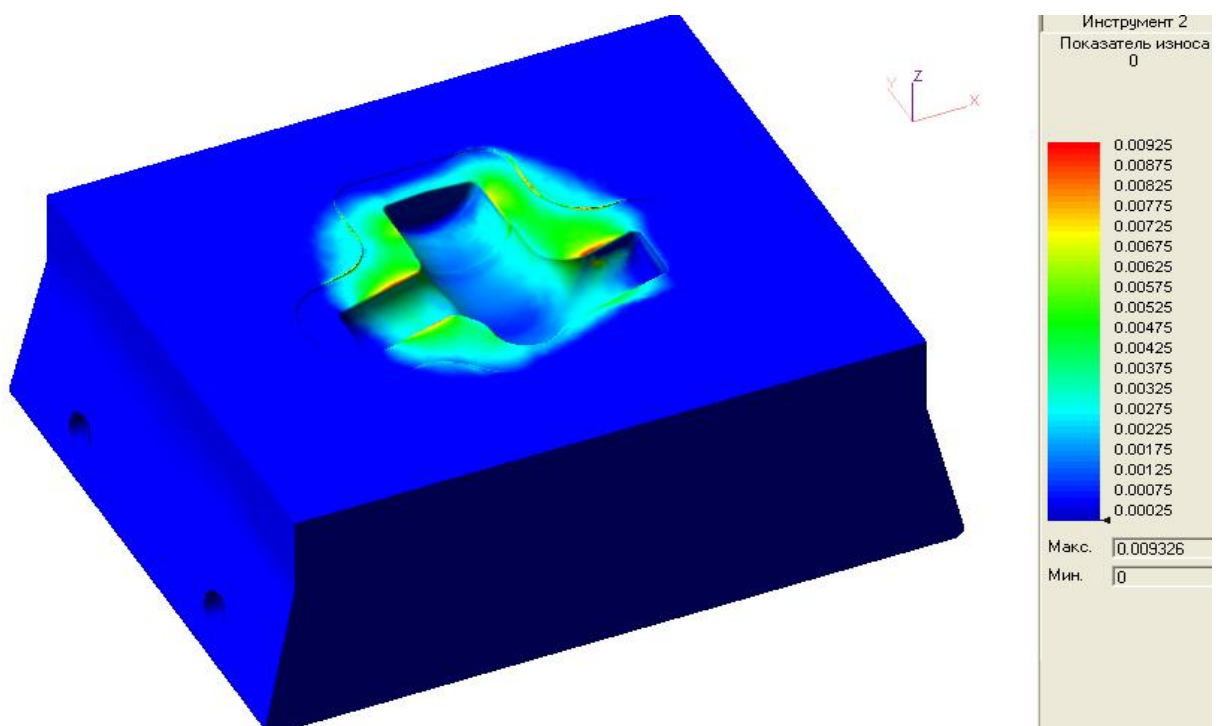


б)

Рис. 9. Середні напруження в інструменті (а – спроектований, б – класичний варіант)

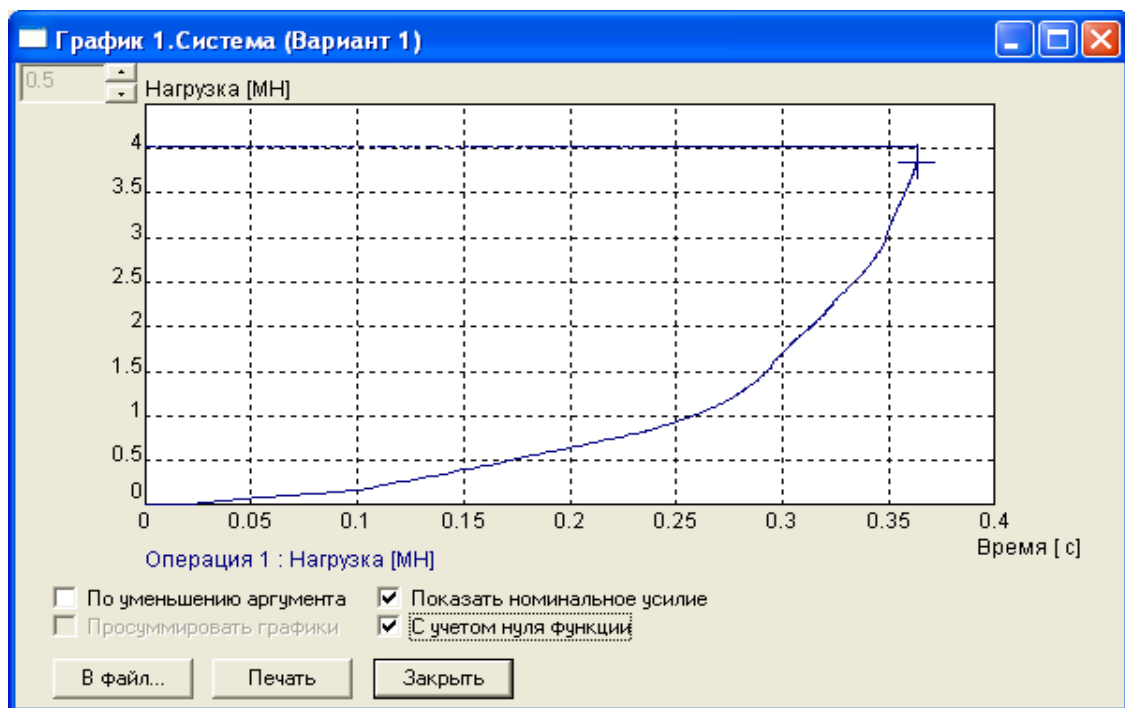


а)



б)

Рис. 10. Показник зносу в інструменті (а – спроектований, б – класичний варіант)

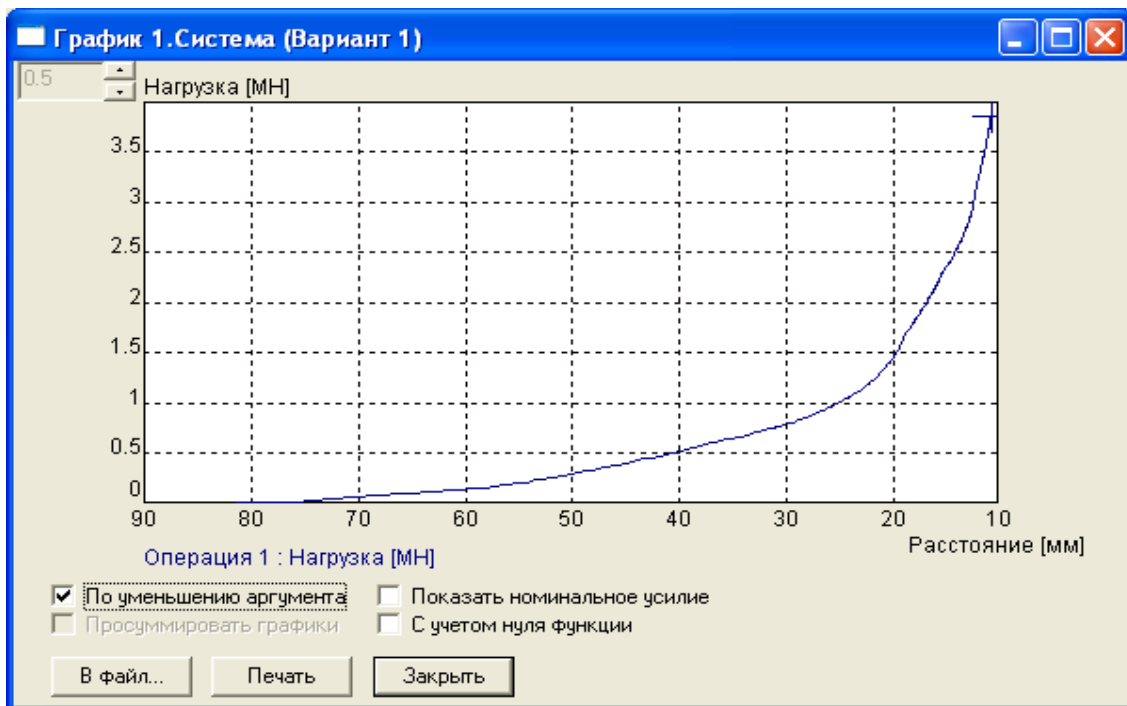


а)

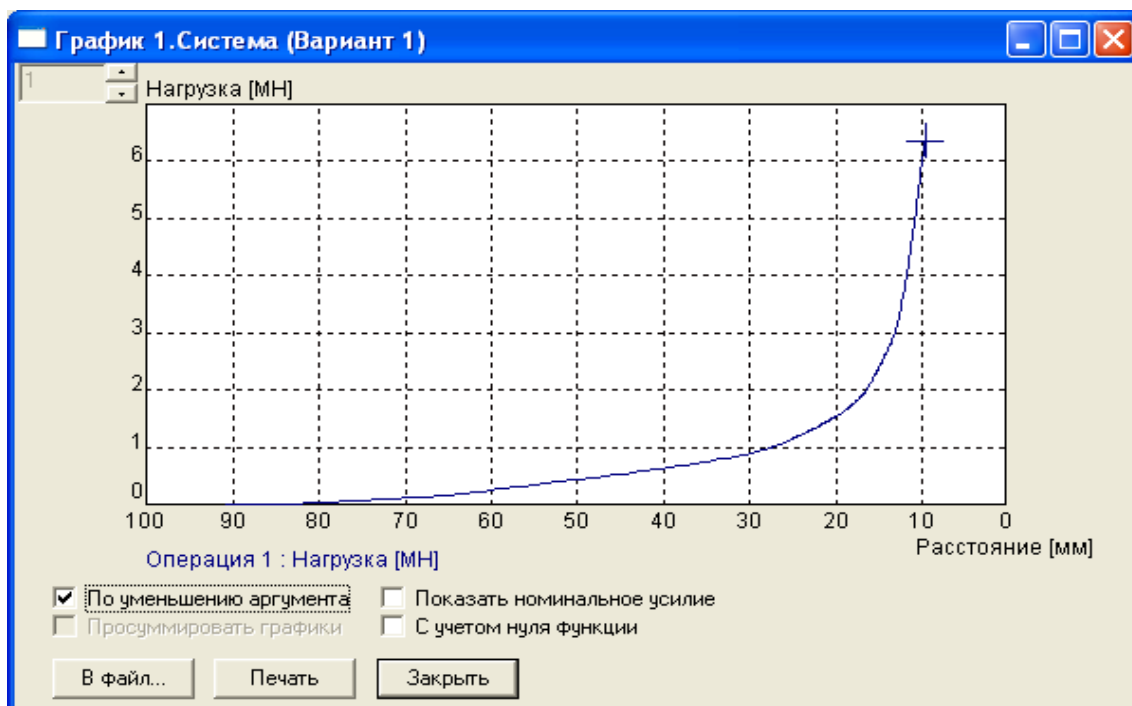


б)

Рис. 11. Графіки залежності навантаження пресового обладнання від часу для розробленої а), та класичної б) конструкції інструменту

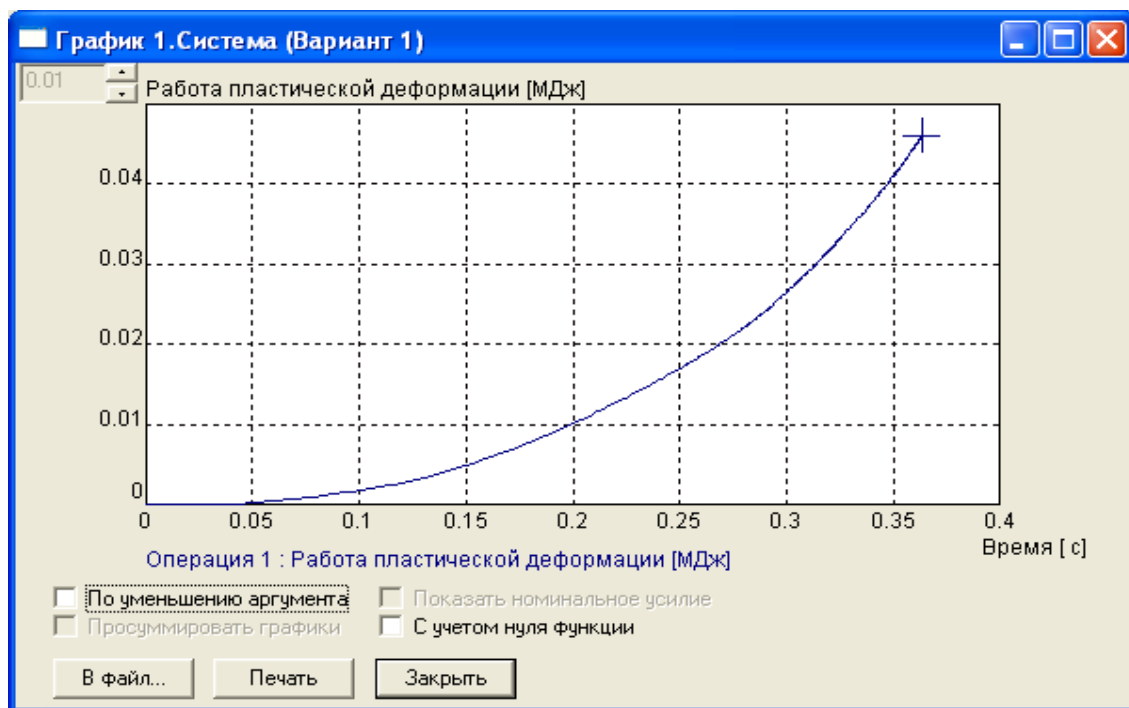


а)



б)

Рис. 12. Графіки залежності штампувального зусилля від пройденого перерізу деталі для розробленої а), та класичної б) конструкції інструменту



а)



б)

Рис. 13. Графіки залежності роботи пластичної деформації від часу для розробленої а), та класичної б) конструкції інструменту

її максимальне значення становить близько 0,0035 мм, коли для класичної конструкції – 0,00925 мм.

Розробка нової конструкції інструменту проводилася з метою запобігання перенавантаження обладнання при штампуванні. Для обраного виду обладнання зусилля становить 4 МН. Проаналізуємо графіки залежності навантажень, штамнувальних зусиль і роботи деформації.

З вище приведених графіків (дивись рис. 11 - 13)наглядно видно, що у всіх випадках при використанні класичної конструкції інструменту відбувається перенавантаження пресового обладнання, оскільки величина номінального зусилля становить 4 МН. З графіків також видно, що при штампуванні на розробленій оснастці процес відбувається більш плавно в порівнянні з класичною конструкцією. Наведені графіки побудовано в програмному комплексі QForm.

На основі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що розроблена конструкція інструменту задовольняє нашим вимогам, а в деяких випадках і перевершує інструмент класичної конструкції.

Розрахованні параметри інструмента і проведені дослідження доказують, що облой не обмежується облойною канавкою і може вільно переміщатися в міжштамповому просторі, що запобігає перенавантаженню пресового обладнання, зменшує величину навантажень на інструмент та його знос і доказує доцільність спроектованного виду штампа.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Алиев З.А., Тетерин Г.П. Системы автоматизации проектирования горячей объемной штамповки. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
2. Атрошенко А.П., Федоров В.И. Металлосберегающие технологии кузнечно-штамповочного производства. – Л.: Машиностроение, 1990. – 280 с.
3. Афонькин М.Г., Магницкая М.В. Производство заготовок в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
4. Афонькин М.Г., Звягин В.Б. Производство заготовок в машиностроении. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2007. – 380 с.
5. Байбородин Ю. В. Основы лазерной техники. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща школа, 1988. – 383 с.
6. Бойцов В.В., Трофимов И.Д. Горячая объемная штамповка. – М.: Высшая школа, 1982. – 270 с.
7. Бруннер В. Справочник по лазерной технике: / Перевод с немецкого. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 544 с.
8. Брюханов А.Н. Ковка и объемная штамповка. – М.: Машиностроение, 1975. – 407 с.
9. Быковский Д.Г. Плазменная технология: опыт разработки и внедрения. – Л.: Лениздат, 1980. – 152 с.
10. Вайнтрауб Д.А., Клепиков Ю.М. Холодная штамповка в мелкосерийном производстве. – М.: Машиностроение, 1975. – 219 с.
11. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Албаганчев А.Ю. Изнашивание при ударе. – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.
12. Второв Е.Л., Мещеряков А.В., Беляев М.А., Шманев В.Л. Повышение технологической надежности деталей ГТД за счет внедрении гидроабразивной обработки на окончательных операциях изготовления. // Материалы IX Всесоюзной научно-технической конференции «Конструкционная прочность двигателей». Куйбышев. 1983.
13. Второв Е.Л., Мещеряков А.В., Попов Л.С., Никифоров В.Г. Влияние режимов гидроабразивной обработки жаропрочных и титановых сплавов на производительность и шероховатость. // Прогрессивные методы проектирования технологических процессов и производства двигателей летательных аппаратов. Куйбышев: КуАИ. 1983.
14. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 54 с.
15. ГОСТ 18169-86. Процессы технологические литейного производства. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 2008. – 15 с.

16. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 56 с.
17. ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 5 с.
18. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные в чушках. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 24 с.
19. ГОСТ 3212-92. Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 16 с.
20. ГОСТ 17819-84. Оснастка технологическая литейного производства. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 9 с.
21. ГОСТ 18111-93. Оборудование технологическое для литейного производства. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 56 с.
22. ГОСТ 19200-80. Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 13 с.
23. ГОСТ 3.1125-88. Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 15 с.
24. ГОСТ 380-94. Сталь углеродистая общего назначения. Марки и технические требования. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 53 с.
25. ГОСТ 1050-88. Сталь углеродистая, качественная. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 85 с.
26. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 53 с.
27. ГОСТ 2.424-80. Правила выполнения чертежей штампов. – М.: Издательство стандартов, 1998. – 15 с.
28. ГОСТ 2590-88. Сталь горячекатаная круглая. Сортамент. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 6 с.
29. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 31 с.
30. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы деформируемые. Марки. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 12 с.
31. ГОСТ 5157-83. Профили стальные горячекатаные разных назначений. Сортамент. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 6 с.
32. ГОСТ 15830-84. Обработка металлов давлением. Штампы. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 23 с.
33. ГОСТ 18323-86. Оборудование кузнечно-прессовое. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 2007. – 16 с.

34. ГОСТ 18970-84. Обработка металлов давлением. Операцииковки и штамповки. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 2007. – 14 с.
35. ГОСТ 3.1126-88. Правила выполнения графических документов на поковки. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 4 с.
36. ГОСТ 8479-70. Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 9 с.
37. ГОСТ 2789-73.Классы шероховатости поверхности. - М.: Издательство стандартов, 1990. – 23 с.
38. ГОСТ 3.1201-85. Технологическая документация на поковки. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 9 с.
39. ГОСТ 2.308-79. Допустимые отклонения размеров. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 19 с.
40. ГОСТ 3606-80. Правила выполнения графических документов на стержни, стержневые знаки, их конструкцию, размеры знаков и зазоры. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 4 с.
41. Гостев В.И. Качество штампованных поковок и методы предупреждения брака в кузнечных цехах. – М: Машиностроение, 1975. – 328 с.
42. Григорьянц А.Г., Соколов А.А.. Лазерная резка металлов. – М.: Высшая школа, 1988. – 127 с.
43. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1967. – 340 с.
44. Губарева Э.М. Высокопроизводительные методы обработки металлов давлением: Учебное пособие. Пермь: Пермский государственный технический университет, 1996.
45. Гун Г.Я. Математическое моделирование обработки металлов давлением: Учебное пособие. – М.: Металлургия, 1983. – 352с.
46. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
47. Домогацкий В.И. Прогрессивные заготовки в машиностроении. – Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1983. – 100 с.
48. Дорошенко В.С., Бердыев К.Х. Сравнительный расчет экономических затрат на изготовление песчаных форм по газифицируемым и ледяным моделям в литейном производстве. // Экологический вестник России. – М., 2011. – №10. – С. 42 - 47.
49. Дубинин Н.П., Беликов О.А., Вязов А.Ф. и др. Кокильное литье. Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1967. – 460 с.
50. Захаров Б.В., Берсенева В.Н. Прогрессивные технологические процессы и оборудование при термической обработке металлов. – Москва: Высшая школа, 1988. – 71 с.
51. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир,

1975. – 541 с.

52. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. / Перевод с английского Б.И. Квасова. / Под ред. Н.С. Бахвалова. – М.: Мир, 1984. – 125 с.

53. Знаменский Л.Г., Кулаков Б.А. и др. Фильтрационное формообразование гелеобразующих систем в точном литье // Литейное производство. 1997. – №4. – С. 34.

54. Знаменский Л.Г. Ивочкина О.В., Ердаков И.Н. Электроимпульсно-фильтрационные технологии изготовления стержней и форм // Вестник ЮУрГУ, 2007. – №13. – С. 39-42.

55. Зорчев С.Н., Кузминцев В.Н. Общая технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Высшая школа, 1986. – 87 с.

56. Иванов В.Н., Казеннов С.А., Курчман Б.С. и др. Литье по выплавляемым моделям. / Под общ. ред. Я.И. Шкленника, В.А. Озерова. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.

57. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

58. Калинин Э.Л., Калинин Е.И., Саковцева М.Б. Оборудование для литья пластмасс под давлением. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

59. Килов А.С. Обработка материалов давлением в промышленности. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 267 с.

60. Ковка и объемная штамповка: Справочник: В 2-х т. / Под ред. М.В. Сторожева. 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1968. Том 2. – 448 с.

61. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.

62. Коротков А.И., Полевая А.М. Литье в оболочковые формы. – М.: Машгиз, 1963. – 299 с.

63. Ковка и штамповка. Справочник: В 4-х т. Том 1 – Материалы и нагрев; Оборудование; Ковка. / Под ред. Е.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 1985. – 568 с.

64. Ковка и штамповка. Справочник: В 4-х т. Том 2. Горячая объемная штамповка: / Под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение, 1987. – 592 с.

65. Ковка на радиально-обжимных машинах / В.А. Тюрин, В.А., Лазоркин И.А., Пospelов и др. / Под общ. ред. В.А. Тюрин. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.

66. Коликов А.П., Подухин П.И., Крупин А.В. Новые процессы деформации металлов и сплавов: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1986. – 351 с.

67. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
68. Костецкий Б.И. Износостойкость металлов. – М.: Машиностроение, 1980. – 252 с.
69. Кошелев А.А., Эйзнер Л.А. Технологии и оборудование для автоматизированной гидроабразивной обработки деталей // Автоматизация технологических процессов в области машиностроения для животноводства и кормопроизводства. Ростов-на-Дону: НИИТМ, 1981.
70. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
71. Крупин А.В., Соловьев В.Я. Обработка металлов взрывом. – М.: Металлургия, 1991. – 496 с.
72. Крупин А.В., Калюжин С.Н, Атабеков Е.У. и др. Процессы обработки металлов взрывом. – М.: Металлургия, 1996. – 336 с.
73. Кузьминцев В.Н. Ковка на молотах и прессах. – М.: Высшая школа, 1985. – 224 с.
74. Лазеры: Устройство и действие: Учебное пособие / А.С Бореjšо; Мех. ин-т. СПб., 1992. – 215 с.
75. Литейное производство. / Под ред. И.Б. Куманина. – М.: Машиностроение, 1981. – 320 с.
76. Малафеев Ю.М., Чепурко Є.Ю. Особливості отримання деталі «корпус» шляхом гарячого об'ємного штампування. // - Вісн. Нац. техн. ун-та України «Київ. політехн. ін-т»: серія «Машинобудування», 2010. – №59. – С. 147-152.
77. Мартынов А.И. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами. Саратов: Издательство Саратовского ун-та, 1981. – 212 с.
78. Материаловедение. / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
79. Мендельсон В.С., Рудман Л.И. Технология изготовления штампов и пресс-форм. – М.: Машиностроение, 1982. – 207с.
80. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок». Проектування та виробництво литих заготовок. / Укл. С.С. Добрянський, Ю.М. Малафеев. – К.:НТУУ «КПІ», 2011. – 42с.
81. Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Частина І. Розробка креслення та технології виготовлення литої заготовки. / Укл. С.С.Добрянський, Ю.М.Малафеев. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 71с.

82. Мещеряков А.В., Второв Е.А., Никифоров В.Г. К вопросу о выборе геометрических параметров струйно-абразивного аппарата. // Совершенствование технологических процессов изготовления и сборки авиадвигателей. Куйбышев: КуАИ, 1988.
83. Михайлова В.Л., Буренин В.В. Безопасность труда в кузнечно-штамповых цехах. – М.: Высшая школа, 1988. – 120 с.
84. Моисеев М.П. Экономика технологичности конструкций. – М.: Машиностроение, 1981. – 253 с.
85. Немзер Г.Г., Шамов А.Н. Нагрев металла под ковку и штамповку. – Л.: Машиностроение, 1981. – 104 с.
86. Оптовые цены на отливки, поковки и горячие штамповки. Прейскурант № 25-01. – М.: Прейскурантиздат, 1981. – 463 с.
87. Орлов П.И. Основы конструирования. В двух книгах. – М.: Машиностроение, 1988. Книга 1 – 559 с., книга 2 – 541 с.
88. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.
89. Петров А.П., Масловский П.А., Ершов С.В. Прогрессивные технологические процессыковки и объемной штамповки. – М.: Высшая школа, 1988. – 347 с.
90. Плавка и литье алюминиевых сплавов. Справ. руководство. / Отв. ред. В.И. Добаткин. – М.: Металлургия, 1970. – 416 с.
91. Полухин П.И., Тюрин В.А., Давидков П.И., Витанов Д.Н. Обработка металлов давлением в машиностроении. – М.: Машиностроение, София «Техника», 1983. – 279 с.
92. Промышленные деформируемые, спеченные и алюминиевые сплавы: Справ. руководство. / Под ред. Ф.И. Квасова, И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1972. – 552 с.
93. Радюченко Ю.С. Ротационное обжатиe. – М.: Машиностроение, 1972. – 176 с.
94. Раскинд В.Л. Справочник молодого кузнеца-штамповщика. – М.: Высшая школа, 1985. – 256 с.
95. Реди Дж. Промышленное применение лазеров. – М.: Мир, 1991. – 638 с.
96. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
97. Руденко П.А., Харламов Ю.А., Плескач В.М. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. / Под общ. ред. В.М. Плескача – К.: Выща школа, 1991. – 247 с.
98. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

99. Секулович М. Метод конечных элементов / Перевод с сербского. Зуева Ю.Н. / Под ред. В.Ш. Барбакадзе. – М.: Стройиздат, 1993. – 664 с.
100. Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка – М.: Высшая школа, 1972. – 352 с.
101. Семенов Е.И. Технология и оборудование ковки и горячей штамповки. – М.: Машиностроение, 1999. – 384 с.
102. Смирнов В.К., Литвинов К.И., Харитонов С.В. Горячая вальцовка заготовок. – М.: Машиностроение, 1980. – 152 с.
103. Специальные виды литья. / Ю.А. Степанов, М.Г. Анучина, Г.Ф. Баландин и др. – М.: Машиностроение, 1970. – 223 с.
104. Специальные технологии литья: Учебник для вузов / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 367 с.
105. Справочник литейщика. / В.К. Могилев, О.И. Лев. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
106. Справочник металлста. В 5-ти т. / Под ред. А.Н. Малова. Т. 3. – М.: Машиностроение, 1977. – 748 с.
107. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка. / Под ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: (Б-ка конструктора).
108. Стерин И.С., Машиностроительные материалы. – Л.: Лениздат, 1984. – 272 с.
109. Теория выбора и принятия решений: Учебное пособие. М.: Наука, 1982. – 328 с.
110. Технология конструкционных материалов. 5-е изд. исправ. / Под общ. ред. А.М. Дальского – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
111. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
112. Установки индукционного нагрева. / Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.
113. Фиглин С.З., Бойцов В.В., Калпин Ю.Г. Изотермическое деформирование металлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.
114. Центробежное литье. / С.Б. Юдин, М.М. Левин, С.Е. Розенфельд и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 279 с.
115. Чачин В.Н., Жолткевич Н.Д., Журавский А.Ю. и др. Ударная листовая штамповка. – М.: НТЦ «Информтехника», 1991. – 224 с.
116. Ширшов И.Г., Котиков В.Н. Плазменная резка. – М.: Машиностроение, 1987. – 162 с.
117. Штамповка на молотах, фрикционных и гидравлических прессах. / А.П. Атрощенко Е.П. Булат, Б.П. Рудаков и др. Л.: Машиностроение,

1982. (Б-ка кузнеца-новатора).

118. Щеголев В.Ф., Максимов Л.Ю., Линц В.П. Кузнечно-прессовые машины. – М.: Машиностроение, 1979. – 304 с.

119. Экономическое обоснование технических решений на машиностроительных предприятиях. / Под общ. ред. С.Г. Пуртова, С.В. Смирнова. – М.: Высшая школа, 1989. – 240 с.

120. Юсипов З.И., Каплин Ю.Н. Обработка металлов давлением и конструкции штампов. – М.: Машиностроение, 1981. – 270 с.

121. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – СПб.: Машиностроение, 1986. – 252 с.

122. Быстрое прототипирование. [Электронный ресурс] - <http://www.ap-proekt.ru/>, дата доступа 10.06.2013.

123. Аддитивные технологии. [Электронный ресурс] - <http://www.narod.ru/>, дата доступа 10.06.2013.

124. Современность - технология производства металлических отливок по моделям из пенопласта. [Электронный ресурс] - <http://dorosh.steelsite.ru/>, дата доступа 10.06.2013.

125. Криотехнология получения отливок из металла по ледяным моделям. [Электронный ресурс] - <http://waste.ua/>, дата доступа 10.06.2013.

126. Фильтрационная формовка по ледяным моделям при производстве точных металлоотливок. [Электронный ресурс] - <http://www.dorosh.steelsite.ru/>, дата доступа 10.06.2013.

127. Разработка экотехнологии получения отливок из металла по ледяным моделям. [Электронный ресурс] - <http://www.i-mash.ru/>, дата доступа 10.06.2013.

128. Роботы-принтеры рисуют вещи замерзающей водой. [Электронный ресурс] - <http://www.membrana.ru/>, дата доступа 10.06.2013.

Навчальне видання

**Добрянський Станіслав Спиридонович
Малафєєв Юрій Михайлович
Пуховський Євген Степанович**

Проектування і виробництво заготовок

Підручник

Редактор Кореньков В. М.



*В авторській редакції
Надруковано з оригінал-макета замовника*

Видавництво «Корнійчук», 04116, Київ-16,
вул. В. Василевської, 15, 15
Свідотцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи №424 від 18.04.2001 р.

Підписано до друку 02.06.2014 р.
Папір офсетний.
Обл.-вид. арк. 20,7.
Наклад 500

Формат 60x84 1/16.
Спосіб друку офсетний.
Зам. № 12-546

Надруковано на ЗАТ «ВИПОЛ»
03151, Київ, вул. Волинська, 60.

Свідотцтво про внесення до Державного реєстру
серія ДК № 752 від 27. 12. 2001 р.