

Іванов В. О., Ступін Б. А., Берладір Х. В.

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Навчальний посібник





Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

Іванов В. О., Ступін Б. А., Берладір Х. В.

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Навчальний посібник

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету

Суми
Сумський державний університет
2023

Рецензенти:

Я. М. Кусий – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка»;

О. Р. Онисько – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

*Рекомендовано до видання
вченою радою Сумського державного університету
як навчальний посібник
(протокол № 3 від 19 жовтня 2023 року)*

Іванов В. О.

I-26 Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин :
навчальний посібник / В. О. Іванов, Б. А. Ступін, Х. В. Берладір. –
Суми : Сумський державний університет, 2023. – 189 с.
ISBN 978-966-657-985-3

Навчальний посібник містить теоретичні відомості про заготовки, одержувані різними способами, зокрема, литтям, пластичним деформуванням, об'ємним гарячим штампуванням, штампуванням заготовок на молотах і пресах, горизонтально-кувальних і спеціальних машинах, а також методами порошкової металургії. Проаналізовано технологічні аспекти заготовок, методи і способи забезпечення якості, точності та технологічності заготовок під час виготовлення. У навчальному посібнику представлено особливості методів виробництва заготовок деталей машин, підходи до визначення розмірів вихідної заготовки, рекомендації щодо оформлення креслень і технічних вимог до них. Для деяких методів наведені розрахунки техніко-економічної ефективності. Навчальний посібник також містить контрольні питання до кожного розділу.

Рекомендований для студентів інженерно-технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

УДК 378.147(075)

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	7
Сучасний стан заготівельного виробництва.....	10
Розділ 1 Заготовки, одержувані виливанням.....	15
1.1 Загальні відомості про заготовки.....	15
1.1.1 Якість та технологічність заготовки.....	17
1.1.2 Коефіцієнт використання матеріалу.....	17
1.1.3 Трудомісткість виготовлення заготовки.....	18
1.1.4 Собівартість виготовлення заготовки.....	19
1.2 Класифікація ливарних сплавів.....	20
1.2.1 Виливки з чавуну.....	22
1.2.2 Виливки зі сталі.....	28
1.2.3 Виливки з кольорових металів.....	30
1.3 Технологічні властивості матеріалів литих заготовок.....	34
Контрольні питання.....	35
Розділ 2 Способи виробництва виливних заготовок, їх технологічні характеристики.....	36
2.1 Класифікація способів лиття.....	36
2.2 Технологічні можливості способів лиття, сфера застосування.....	37
Контрольні питання.....	42
Розділ 3 Особливості оформлення креслень заготовок, технічні вимоги до них.....	43
3.1 Вибір способу виготовлення виливків та їх положення у формі.....	43
3.2 Технологічність виливків.....	47
3.3 Розроблення креслення виливків.....	49
Контрольні питання.....	51
Розділ 4 Види ливарних форм і способи лиття.....	52

4.1 Лиття в піщані форми.....	52
4.1.1 Якість та технологічність заготовки.....	52
4.1.2 Способи формування та обладнання.....	53
4.1.3 Вибивання, обрубвання та очищення випливів.....	59
4.1.4 Термічне оброблення випливів.....	61
4.1.5 Дефекти випливів і способи їх усунення.....	61
4.2 Спеціальні способи лиття.....	65
4.2.1 Лиття в кокіль.....	65
4.2.2 Лиття під тиском.....	67
4.2.3 Лиття відцентрове.....	68
4.3 Форми, що мають конфігурацію тіла обертання.....	68
4.3.1 Лиття в оболонкові форми.....	69
4.3.2 Лиття за витоплюваними моделями.....	70
4.3.3 Штампування випливів із рідкого металу.....	71
4.3.4 Електрошлакове лиття.....	72
4.4 Порівняльний аналіз способів лиття.....	73
Контрольні питання.....	75
Розділ 5 Способи виготовлення заготовок пластичним деформуванням, їх технологічні характеристики.....	76
5.1 Особливості ковальсько-штампувального виробництва.....	76
5.2 Класифікація технологічних процесів і виробів ковальсько-штампувального виробництва, застосоване обладнання.....	76
5.3 Вихідні заготовки в ковальсько-штампувальному виробництві та способи їх оброблення.....	78
5.4 Характеристики точності та металоємності в ковальсько-штампувальному виробництві.....	81
Контрольні питання.....	82
Розділ 6 Об'ємне гаряче штампування.....	83
6.1 Сутність процесу, застосоване обладнання,	

інструмент, показники якості заготовок.....	83
6.2 Правила вибору площини розняття матриць штампа.....	85
6.3 Проектування порожнин у поковках.....	88
6.4 Визначення маси та розмірів заготовки для штампування.....	89
Контрольні питання.....	93
Розділ 7 Штампування заготовок на молотах і пресах.....	94
7.1 Обладнання та інструмент, застосовувані під час штампування на молотах.....	94
7.2 Класифікація поковок, отриманих на молотах, та струмків під час штампування.....	95
7.3 Визначення розмірів вихідної заготовки, кількості переходів під час штампування на молотах.....	96
7.4 Рекомендації з розроблення креслень.....	100
7.5 Сутність процесу кування, застосоване обладнання.....	101
7.6 Класифікація кованих поковок, основні технологічні операції.....	105
7.7 Розроблення креслень кованої поковки.....	106
Контрольні питання.....	109
Розділ 8 Штампування на горизонтально-кувальних і спеціальних машинах.....	110
8.1 Кривошипні гарячештампувальні преси і класифікація штампованих поковок.....	110
8.2 Гідравлічні та гвинтові преси. Сфера застосування..	113
8.3 Штампування заготовок на горизонтально- кувальних машинах.....	114
Контрольні питання.....	119
Розділ 9 Проектування зварних і комбінованих заготовок.	120
9.1 Принципи конструктивно-технологічного проектування зварних конструкцій.....	120

9.2 Комбіновані зварні заготовки.....	124
9.3 Напрямки вдосконалення зварних конструкцій.....	126
Контрольні питання.....	127
Розділ 10 Заготовки, отримвані методами порошкової металургії.....	128
10.1 Застосування конструкційних порошкових матеріалів.....	128
10.2 Проектування заготовок із порошкових матеріалів.....	135
10.3 Точність заготовок, отримуваних методами порошкової металургії.....	140
Контрольні питання.....	142
Розділ 11 Заготовки із пластмас.....	143
11.1 Пластмаси, їх властивості та сфери застосування...	143
11.2 Способи виготовлення заготовок із пластмас.....	144
11.3 Проектування заготовок із пластмас.....	151
11.4 Точність, шорсткість і припуски на оброблення заготовок із пластмас.....	159
11.5 Методи з'єднання пластмас.....	160
Контрольні питання.....	169
Розділ 12 Різання прокату на штучні заготовки.....	170
12.1 Різання пруткового прокату на штучні заготовки...	170
12.2 Термічне різання матеріалу на штучні заготовки...	174
Контрольні питання.....	184
Список літератури.....	187

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин» є актуальною і критично важливою для студентів і промисловості загалом, допомагаючи адаптуватися до сучасних вимог і досягати високих стандартів виробництва та якості продукції.

Сучасний швидкий темп технологічного розвитку призводить до виникнення нових методів виробництва деталей машин, таких як адитивне виробництво (3D-друкування), застосування штучного інтелекту, Інтернету речей і багатьох інших. У світлі зростаючих вимог до якості та надійності машин і обладнання, знання та навички, одержані під час вивчення цієї дисципліни, стають ключовими для виробництва безпечних і надійних продуктів. В умовах глобальної конкуренції підприємства шукають способи зниження витрат та підвищення ефективності виробництва. Оптимальні технологічні методи грають ключову роль у досягненні цих цілей. У низці галузей, таких як автомобільна, аерокосмічна, медична та оборонна, точні й ефективні технологічні методи виробництва є критичними для створення продуктів і систем, що відповідають вимогам цих галузей. Вивчення оптимальних технологічних методів дозволяє підприємствам знижувати витрати на виробництво, що призводить до збільшення прибутковості і конкурентоспроможності. Вивчення цієї дисципліни допомагає студентам розвивати навички аналізу й ухвалення рішень щодо технологічних та виробничих умов, що швидко змінюються. Виробництво деталей машин залишається однією з основних сфер промисловості, і попит на фахівців, які розуміють технологічні аспекти виробництва, залишається сталим.

Навчальний посібник призначений для вивчення навчальної дисципліни «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин», яка вивчається під час підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» освітньої програми 131 «Прикладна механіка».

Метою навчальної дисципліни є оволодіння студентами знаннями та вміннями правильно вибирати та проєктувати

заготовки деталей машин, призначати вимоги до точності та якості її виготовлення для різних виробничих умов, призначати необхідний матеріал, обладнання та оснащення, проводити техніко-економічне обґрунтування. Вивчення цієї дисципліни дає студентам уявлення про обладнання, технологічне оснащення, способи отримання заготовок і методи їх виготовлення.

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

- вибирати раціональний спосіб одержання заготовки;
- визначати параметри одержуваної заготовки;
- розуміти принципи проєктування заготовок;
- оформлювати креслення заготовки, формулювати

технічні вимоги на її виготовлення.

Навчальна дисципліна «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин» забезпечує такі програмні результати навчання для спеціальності 131 «Прикладна механіка»:

- виконувати геометричне моделювання деталей, механізмів і конструкцій у вигляді просторових моделей і проєкційних зображень та оформлювати результат у вигляді технічних і робочих креслень;

- застосовувати нормативні та довідкові дані для контролю відповідності технічної документації, виробів і технологій стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам;

- навички практичного використання комп'ютеризованих систем проєктування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE);

- оцінювати техніко-економічну ефективність виробництва;

- враховувати під час ухвалення рішень основні фактори техногенного впливу на довкілля й основні методи його захисту, охорони праці та безпеки життєдіяльності;

- розробляти конструкторсько-технологічну документацію відповідно до вимог діючих нормативно-правових документів.

Навчальний посібник підготовлено за сприяння International Association for Technological Development and Innovations та International Innovation Foundation.

СУЧАСНИЙ СТАН ЗАГОТІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Заготівельне виробництво – це процес виготовлення заготовок або напівфабрикатів, які потім використовують для виготовлення готових виробів. Заготовки можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як метали, дерево, скло, пластик та інші.

Заготівельне виробництво є важливою складовою багатьох виробничих процесів та галузей промисловості, включаючи машинобудування, авіабудування, виробництво електронної техніки та інших товарів.

Заготівельне виробництво в Україні розподіляється між різними регіонами країни. Зазвичай заготівельне виробництво відбувається на підприємствах, розміщених у промислових центрах та містах.

Наприклад, одним із найбільших промислових центрів в Україні є місто Дніпро, де розташовані численні машинобудівні та металургійні підприємства. У цьому регіоні значна частина заготівельного виробництва пов'язана з машинобудуванням та виробництвом запчастин. Також заготівельне виробництво є важливою галуззю у Львівській області, де діють численні підприємства, що займаються виробництвом дерев'яних та меблевих виробів, а також виготовленням металевих заготовок для машинобудівного та енергетичного секторів. Іншим важливим регіоном для заготівельного виробництва є Запорізька область, де діють металургійні підприємства, які виробляють заготовки для автомобільної промисловості та інших галузей.

Отже, заготівельне виробництво є важливою складовою економіки багатьох регіонів України, забезпечуючи робочі місця тисячам працівників та сприяючи розвитку промисловості країни.

За даними World Steel Association [1], сумарне виробництво сталі у світі за 2022 рік скоротилося майже на 4 % порівняно з попереднім роком. Зокрема, до найбільших країн-виробників сталі увійшли Китай, Індія, Японія, США, Росія, Південна Корея, Німеччина, Туреччина, Бразилія (рис. 1). Спостерігається незначне зниження обсягів виробництва для

всіх країн-лідерів, окрім Індії, яка збільшила обсяг виробництва на 6 % порівняно з 2021 роком. Україна зайняла 25-те місце, виробивши 6,3 млн тонн сталі, що стало значним спадом обсягів виробництва порівняно з 2021 роком, коли Україна зайняла 14-те місце з обсягом виробництва 21,4 млн тонн сталі.

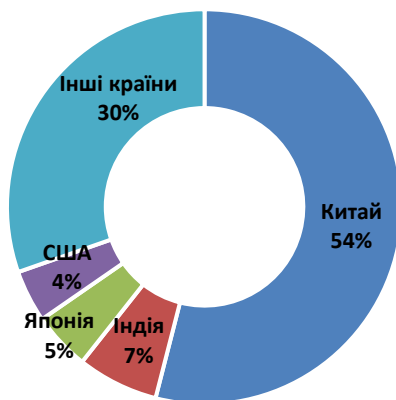


Рисунок 1 – Статистичний розподіл сумарного виробництва сталі за 2022 рік у розрізі країн-виробників

До найбільших світових компаній із ливарного виробництва на сьогодні належать China Baowu Group (Китай), ArcelorMittal (Люксембург), Ansteel Group (Китай), Nippon Steel Corporation (Японія), Shagang Group (Китай), HBIS Group (Китай), POSCO Holdings (Південна Корея), Jianlong Group (Китай), Shougang Group (Китай), Tata Steel (Індія).

Ці компанії виробляють різноманітні литі вироби, такі як кузовні деталі для автомобілів, труби, насосні імелери, а також вироби для суднобудування та авіаційної промисловості. Вони мають значну кількість виробничих підрозділів і заводів у різних країнах світу та активно розширюють свої можливості в ливарній галузі.

Україна має кілька великих ливарних підприємств, зокрема в містах Краматорськ, Дніпро, Запоріжжя, Львів та

інших регіонах. Більшість із них спеціалізуються на виробництві чавунних та сталевих виробів, таких як литі деталі для машинобудування, виробів для будівельної промисловості, труб, запчастин для автомобілів та інших виробів.

В Україні також є кілька науково-дослідних інститутів та університетів, які займаються вивченням технологій ливарного виробництва та розробленням нових матеріалів для ливарної промисловості. Загалом ливарна промисловість в Україні є важливою складовою економіки країни та забезпечує робочі місця для тисяч працівників.

На сьогодні більше ніж 85 % підприємств світового машинобудування працює за принципом одиничного та серійного виробництв, тобто машинобудування стало багатонаменклатурним [2]. Сучасне виробництво є складним процесом перетворення сировини, матеріалів, напівфабрикатів та інших предметів праці на готову продукцію, що задовольняє потреби суспільства.

На підприємствах машинобудування основне виробництво складається з трьох стадій: заготівельної, обробної та складальної.

До заготівельної стадії належать процеси отримання заготовок – різання матеріалів, лиття, штампування [3]. Обробна стадія включає процеси перетворення заготовок на готові деталі: механічне оброблення, термооброблення, фарбування та гальванічні покриття тощо. Складальна стадія є заключною частиною виробничого процесу [4]. До неї входять складання вузлів та готових виробів, регулювання та налагодження машин і приладів, їх випробування.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку промислового виробництва України та її основних комплексів дозволив виявити характерні риси їх розвитку [5–7]. Так, у машинобудівній галузі має місце надзвичайно велика кількість відходів металу і висока металоємність продукції, що засвідчує низький рівень технології, зокрема [8]:

- у заготівельному виробництві близько 60 % металу йде у відходи (сталеплавильне виробництво, виробництво сталевих

та чавунного литва, виробництво деталей куванням і штампуванням із прокату, виробництво поковок із відливок);

- за механічного оброблення близько 20 % вихідного металу йде у відходи (здебільшого у стружку). Це пов'язано з низькою якістю і точністю відливок, поковок, штампованих виробів.

Загалом під час виробництва машинобудівної продукції металеві відходи становлять близько 50 % від початкової кількості металу.

Зокрема, на рисунку 2 показано втрати металу з причини недосконалості технологічної бази залежно від типу виробництва в машинобудуванні.



Рисунок 2 – Статистичний розподіл втрат металу залежно від типу виробництва в машинобудуванні

Таким чином, із причини недосконалості технологічної бази не раціональне використання металу в машинобудівній галузі призводить до таких наслідків [9]:

- збільшення на 50 % прямих витрат на придбання металу, і енергетичних ресурсів на його виготовлення;
- збільшення на 50 % витрат на збирання, утилізацію та перероблення відходів металу;

- збільшення на 20 % працевтрат, енергетичних та інших матеріальних витрат у механічному обробленні;
- збільшення терміну виготовлення машинобудівної продукції не менше ніж на 40 %.

Особливість проблеми зменшення відходів полягає у тому, що вибір заготовок має конструкторсько-технологічний характер. Вибір заготовок для відповідальних деталей машин є завданням конструктора. Якщо заготовка не задана конструктором, то її вид визначають інженери-технологи, які відповідальні за проектування технологічного процесу виготовлення деталей, а спосіб виготовлення та конкретні технології розробляють фахівці заготівельного виробництва. Для нескладних деталей вигляд і спосіб виготовлення вихідної заготовки визначають технології механообробних виробництв.

Основні напрями у вирішенні цієї проблеми пов'язані з оптимальним вибором матеріалу деталі та способу виготовлення заготовки, враховуючи його техніко-економічне обґрунтування.

У зв'язку з цим удосконалення заготівельного виробництва полягає в максимальному наближенні форми та розмірів заготовки до форми та розмірів деталі.

РОЗДІЛ 1 ЗАГОТОВКИ, ОДЕРЖУВАНІ ВИЛИВАННЯМ

1.1 Загальні відомості про заготовки

Усі види матеріалів, що входять до складу готового машинобудівного виробу, перш ніж перетворитися на нього, зазнають у ході виробничого процесу низку послідовних структурних та параметричних перетворень (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Схема перетворення конструкційних матеріалів на вироби машинобудування

Заготовка – предмет праці, з якого за допомогою зміни форми, розмірів, властивостей поверхні та (або) матеріалу виготовляють деталь.

Початковою фазою машинобудівного виробництва є заготівельне виробництво. Заготовку перед першою операцією виготовлення деталі називають початковою.

Зважаючи на конструктивні форми, габаритні розміри, марки матеріалу і необхідну кількість деталей, що випускають за одиницю часу, визначають метод отримання заготовки. Водночас опираються лише на технологічні властивості даного матеріалу: можливість лиття, штампування, пресування, зварюваність, оброблюваність різанням тощо. Вибір методу отримання заготовки схематично наведено на рисунку 1.2.

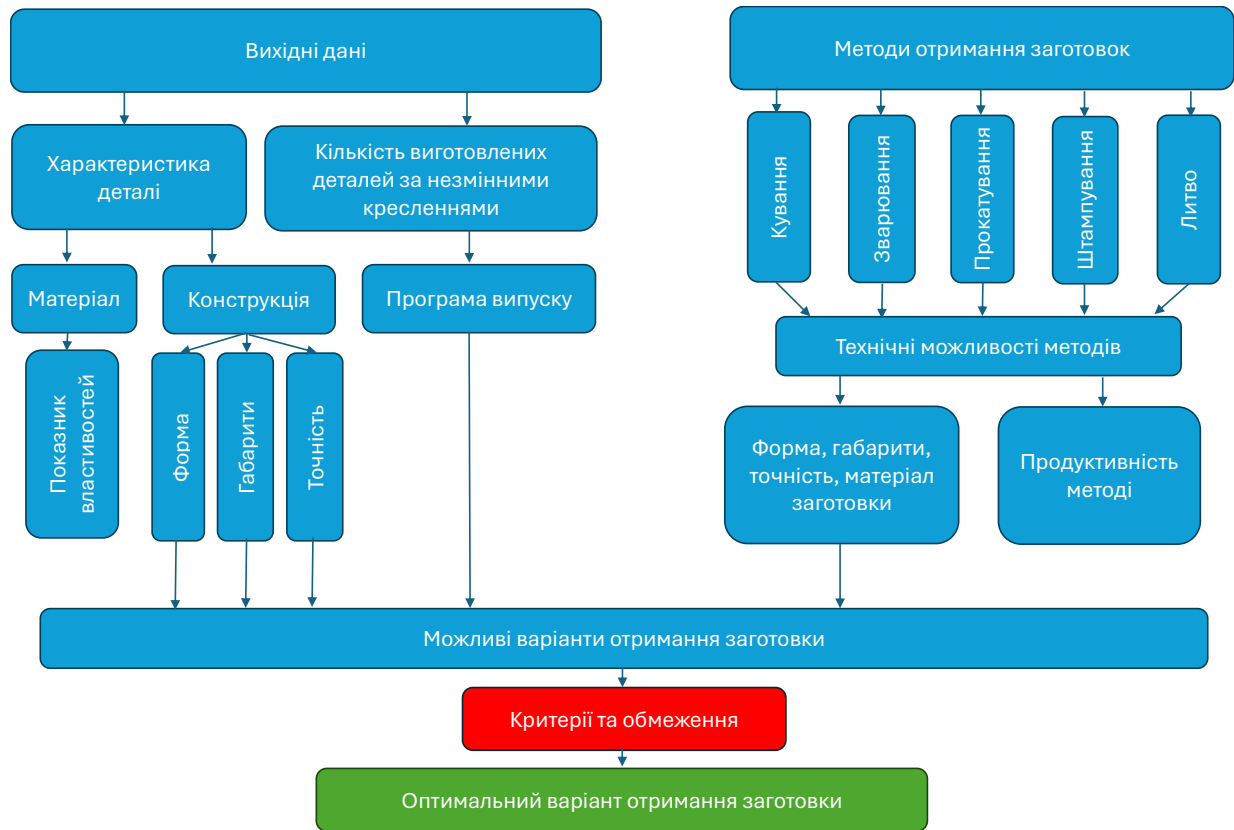


Рисунок 1.2 – Схема вибору методу отримання заготовки

Залежно від способу виготовлення виділяють такі види заготовок:

- ливарні;
- ковані та штамповані;
- прокат;
- зварні та комбіновані;
- із порошкових і неметалічних матеріалів, а також отримані за допомогою нанотехнологій.

1.1.1 Якість та технологічність заготовки

Якість заготовки, а саме – геометрія та точність розмірів, шорсткість поверхонь, глибина дефектного шару, твердість матеріалу – залежить від властивостей матеріалу та способу виготовлення заготовки.

До показників технологічності заготовки належать:

- коефіцієнт використання матеріалу;
- трудомісткість виготовлення;
- технологічна собівартість (кількісна оцінка).

1.1.2 Коефіцієнт використання матеріалу

Коефіцієнт використання матеріалу визначаємо за формулою

$$K_{в.м} = \frac{m_{\partial}}{m_{в.м}}, \quad (1.1)$$

де m_{∂} – маса деталі;

$m_{в.м}$ – маса витраченого матеріалу (ливники, облой, окалина тощо).

Цей коефіцієнт оцінює загальні витрати матеріалу для виготовлення деталі (табл. 1.1):

$$0 < K_{в.м} \leq 1.$$

Таблиця 1.1 – Середнє значення $K_{в.м}$ для заготовок із чорних і кольорових металів

Вид заготовки	$K_{в.м}$
Лиття	0,6–0,4
Оброблення тиском	0,67–0,36
Прокат	0,63–0,38

Примітка: за $K_{в.м} \geq 0,98$ технологія вважається безвідходною; за $0,9 \leq K_{в.м} < 0,98$ – маловідходною; за $0,78 \leq K_{в.м} < 0,9$ – середній рівень

1.1.3 Трудомісткість виготовлення заготовки

На ранніх стадіях проектування заготовок застосовують наближені методи оцінювання трудомісткості.

Наприклад, трудомісткість оцінюють за трудомісткістю виготовлення типової заготовки аналогічної форми, точності та технології виготовлення за формулою

$$T_{np} = T_{min} \sqrt[3]{\left(\frac{M_{np}}{M_{min}}\right)^2}, \quad (1.2)$$

де T_{np}, T_{min} – трудомісткість виготовлення відповідно проекрованої та типової заготовок;

M_{np}, M_{min} – маса відповідно проекрованої та типової заготовок.

Для оцінювання технологічності на стадії механічного оброблення використовують також відношення трудомісткості механічного оброблення до трудомісткості виготовлення заготовки:

$$\frac{T_{мех}}{T_{заг}}. \quad (1.3)$$

Чим менше це відношення, тим більш технологічною є заготовка, оскільки зменшується трудомісткість механічного оброблення.

1.1.4 Собівартість виготовлення заготовки

Собівартість виготовлення заготовки S_3 у заготівельному цеху визначаємо за формулою

$$S_3 = M_3 + Z_3 + O_3, \quad (1.4)$$

де M_3 – вартість матеріалів для виготовлення однієї заготовки, грн;

Z_3 – зарплата основних робітників заготівельного цеху, грн;

O_3 – вартість технологічного оснащення, грн.

Вибраний метод отримання заготовки повинен забезпечувати мінімальну собівартість виготовлення готової деталі, тобто повинні бути мінімальними витрати на матеріал, виготовлення заготовки та механічне оброблення заготовки:

$$C_{дет} = C_3 + C_{мех}, \quad (1.5)$$

де $C_{дет}$ – собівартість виготовлення деталі, грн;

C_3 – собівартість виготовлення заготовки, грн;

$C_{мех}$ – собівартість виготовлення деталі в механічному цеху, грн.

Усі елементи собівартості взаємозв'язані. Наприклад, зміна вигляду заготовки викликає зміну витрат на механічне оброблення. Зміна конструкційного матеріалу може викликати зміну номенклатури технологічного обладнання. З підвищенням точності виготовлення заготовки та наближенням її конфігурації до готової деталі зменшується обсяг механічного оброблення, тобто зменшується доданок $C_{мех}$.

За наявності декількох рівнозначних способів роблять вибір, зважаючи на умови забезпечення максимальної продуктивності та мінімальної собівартості заготовки для даного типу виробництва.

Технологічні показники заготовок можуть мати також і якісну оцінку («добре – погано», «допустимо – недопустимо»). Порівнюють два та більше варіантів виготовлення заготовок.

Критерієм оцінювання в цьому разі є довідкові дані та досвід конструктора і технолога. Оцінка складається на стадії ескізного проектування та передує кількісному оцінюванню.

Технологічність заготовки багато в чому визначається технологічністю деталі, а коефіцієнт точності оброблення та коефіцієнт шорсткості визначають відповідно до ГОСТу 14.205-83.

1.2 Класифікація ливарних сплавів

Статистичний аналіз заготовок [10], одержуваних виливанням, показав, що приблизно 75 % виливків виготовляють із чавуну, близько 20 % – зі сталі, 4 % – сплави кольорових металів, 1 % – інші матеріали (металеві композиції зі сплавів різного складу тощо) (рис. 1.3).

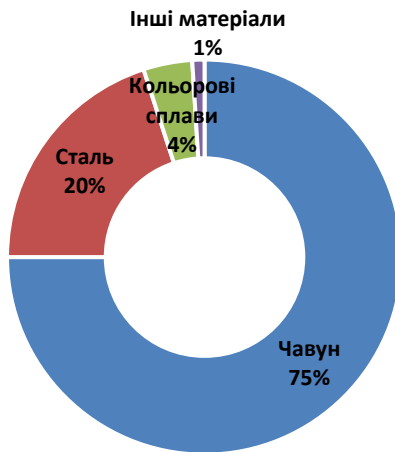


Рисунок 1.3 – Статистичний розподіл виливків за матеріалом

Згідно з класифікацією ливарних сплавів (рис. 1.4) усі матеріали поділяють на групи: чорні метали, легкоплавкі метали, тугоплавкі метали, кольорові сплави.

До групи чорних металів належать чавуни та сталі. Розглянемо більш детально кожний матеріал.



Рисунок 1.4 – Класифікація ливарних сплавів

1.2.1 Виливки з чавуну

Чавун – залізовуглецевий нековкий ливарний сплав, що містить понад 2 % (до 3–3,5 %) вуглецю, до 4,5 % кремнію, до 1,5 % марганцю, до 1,8 % фосфору, до 0,08 % сірки.

Експлуатаційні властивості чавуну залежать від його міцності, твердості, пластичності, а також від форми, розмірів і розміщення вуглецевих включень у його структурі.

Графітізовані чавуни – це сірі чавуни з пластинчастим графітом. Сірі чавуни малочутливі до надрізів та інших концентраторів напруження. Добре розсіюють вібрації, тому станини верстатів роблять не зі сталі, а із чавуну. У разі ударних навантажень чавун застосовувати не можна, оскільки він крихкий. Проте сірий чавун – найбільш дешевий ливарний сплав.

У марці чавуну перші літери СЧ означають сірий чавун. Цифрова позначка свідчить про величину мінімальної межі міцності під час розтягування (Н/мм²). Марка чавуну СЧА означає його мікролегування азотом.

Хімічний склад, марки і властивості сірого чавуну з пластинчастим графітом для виливків наведено в таблицях 1.2, 1.3.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сірого чавуну з пластинчастим графітом для виливків (ДСТУ 8833:2019)

Марка чавуну	Масова частка елемента, %				
	C	Si	Mn	P	S
				не більше ніж	
СЧ100	3,5–3,7	2,2–2,6	0,5–0,8	0,3	0,15
СЧ150	3,5–3,7	2,0–2,4	0,5–0,8	0,2	0,15
СЧ200	3,3–3,5	1,4–2,4	0,7–1,0	0,2	0,15
СЧ250	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15
СЧ300	3,0–3,2	1,3–1,9	0,7–1,0	0,2	0,12
СЧ350	2,9–3,0	1,2–1,5	0,7–1,1	0,2	0,12
СЧА400	2,7–2,9	1,3–1,6	0,5–0,8	0,1	0,10

*Допустимо низьке легування чавуну різними елементами (хромом, нікелем, міддю тощо)

Таблиця 1.3 – Марки і властивості чавуну з пластинчастим графітом для виливків (ДСТУ 8833:2019)

Марка чавуну згідно з ДСТУ 8833:2019	Марка чавуну згідно з ДСТУ EN 1561:2010	Межа міцності під час розтягування σ_b, Н/мм², не менше ніж	Модуль пружності під час розтягування, $E \cdot 10^{-2}$ МПа	Твердість HB, не більше ніж
СЧ100	EN-GJL-100	100 (10)	700–1 100	120–205
СЧ150	EN-GJL-150	150 (15)	700–1 100	130–241
СЧ200	EN-GJL-200	200 (20)	850–1 100	143–255
СЧ250	EN-GJL-250	250 (25)	900–1 100	156–260
СЧ300	EN-GJL-300	300 (30)	1 200–1 450	163–270
СЧ350	EN-GJL-350	350 (35)	1 300–1 550	179–290
СЧА400	–	400 (40)	1 400–1 650	195–290

Ковкий чавун отримують за допомогою відпалу білого чавуну. Він має включення з пластівчастим графітом, а також низькі ливарні властивості – знижена рідкоплинність, велика усадка, підвищена схильність до появи тріщин. Застосовують для відливок, що працюють зі знакозмінними навантаженнями: коробки передач, шасі в автотранспорті, важелі тощо.

Умовне позначення марки ковкого чавуну містить літери КЧ (К – ковкий, Ч – чавун), цифрове позначення мінімального значення тимчасового опору розриву під час розтягу (МПа), та через дефіс – мінімального значення відносного видовження (%).

Залежно від хімічного складу і режиму виплавляння розрізняють феритну та перлітну металеву основу чавуну. Марки, хімічний склад і механічні властивості ковкого чавуну наведено в таблицях 1.4, 1.5.

Таблиця 1.4 – Механічні властивості ковкого чавуну (ГОСТ 1215-79)

Марка чавуну	Тимчасовий опір розриву, МПа (кгс/мм²), не менше ніж	Відносне видовження, %, не менше ніж	Твердість НВ
КЧ 30-6	294 (30)	6	100–163
КЧ 33-8	323 (33)	8	100–163
КЧ 35-10	333 (35)	10	100–163
КЧ 37-12	362 (37)	12	110–163
КЧ 45-7	441 (45)	7	150–207
КЧ 50-5	490 (50)	5	170–230
КЧ 55-4	539 (55)	4	192–241
КЧ 60-3	588 (60)	3	200–269
КЧ 65-3	637 (65)	3	212–269
КЧ 70-2	686 (70)	2	241–285
КЧ 80-1,5	784 (80)	1,5	270–320

Таблиця 1.5 – Марки і хімічний склад ковкого чавуну (ГОСТ 1215-79)

Марка чавуну	Спосіб виплавляння	Хімічний склад, %						
		C	Si	масова частка C і Si	Mn	P	S	Cr
Феритного класу								
КЧ 30-6	Вагранка	2,6–2,9	1,0–1,6	3,7–4,2	0,4–0,6	0,18	0,20	0,08
КЧ 33-8								
КЧ 35-10	Вагранка – електропіч	2,5–2,8	1,1–1,3	3,6–4,0	0,3–0,6	0,12	0,20	0,06
КЧ 37-12	Електропіч – електропіч	2,4–2,7	1,2–1,4	3,6–4,0	0,2–0,4	0,12	0,06	0,06
Перлітного класу								
КЧ 45-7	Вагранка – електропіч	2,5–2,8	1,1–1,3	3,6–3,9	0,3–1,0	0,10	0,20	0,08
КЧ 50-5								
КЧ 55-4								
КЧ 60-3								
КЧ 65-3	Електропіч – електропіч	2,4–2,7	1,2–1,4	3,6–3,9	0,3–1,0	0,10	0,06	0,08
КЧ 70-2								
КЧ 80-1,5								

Високоміцний чавун із кулеподібним графітом застосовують для відповідальних відливок, що працюють в умовах змін теплового режиму, наприклад, гільзи ДВС та ін. Цей чавун за ливарними властивостями близький до сталей. Має знижену рідкоплинність, знижену усадку, схильність до дефектів ливарного походження.

Умовне позначення марки чавуну з кулястим графітом містить літери ВЧ (В – високоміцний, Ч – чавун), цифрове позначення мінімального значення тимчасового опору під час розтягання (МПа), та через дефіс – мінімального значення відносного видовження (%).

Марки, хімічний склад і механічні властивості чавуну з кулястим графітом наведено в таблицях 1.6, 1.7.

Таблиця 1.6 – Марки і хімічний склад чавуну з кулястим графітом для виливків (ДСТУ 3925-99)

Марка чавуну	Масова частка елемента, %					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
			не більше ніж			
ВЧ 350-22	2,7–3,8	1,9–2,6	0,2–0,6	0,1	0,02	0,05
ВЧ 400-15*	3,3–3,8	1,9–2,6	0,2–0,6	0,1	0,02	0,05
ВЧ 420-12	3,3–3,8	1,9–2,9	0,2–0,6	0,1	0,02	0,1
ВЧ 450-10	3,3–3,8	1,9–2,9	0,2–0,6	0,1	0,02	0,1
ВЧ 450-5	3,4–3,8	1,9–2,9	0,2–0,6	0,1	0,02	0,1
ВЧ 500-7	3,2–3,4	1,9–2,9	0,2–0,7	0,1	0,02	0,1
ВЧ 500-2	3,2–3,6	1,9–2,9	0,2–0,9	0,1	0,02	0,15
ВЧ 600-3*	3,2–3,6	1,9–2,9	0,4–0,7	0,1	0,01	0,15
ВЧ 700-2*	3,2–3,6	1,9–2,9	0,5-0,9	0,1	0,01	0,15
ВЧ 800-2*	3,2–3,6	1,9–2,9	0,5-0,9	0,1	0,01	0,15
ВЧ 900-2*	3,2–3,6	1,9–2,9	0,6-0,9	0,1	0,01	0,15
ВЧ 1000-2*	3,2–3,6	2,3–2,8	0,6-0,9	0,1	0,01	0,15

*Допускається легування нікелем, міддю або іншими елементами

Таблиця 1.7 – Основні механічні властивості чавуну з кулястим графітом (ДСТУ 3925-99)

Марка чавуну	Тимчасовий опір під час розтягу σ_B , МПа	Умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Відносне видовження, %	Твердість НВ
	не менше ніж			
ВЧ 350-22	350 (35)	230 (23)	22	140–170
ВЧ 400-15*	400 (40)	260 (26)	15	140–202
ВЧ 420-12	420 (42)	270 (27)	12	140–217
ВЧ 450-10	450 (45)	320 (32)	10	140–225
ВЧ 450-5	450 (45)	310 (31)	5	140–220
ВЧ 500-7	500 (50)	340 (34)	7	140–245
ВЧ 500-2	500 (50)	390 (39)	2	140–260
ВЧ 600-3*	600 (60)	390 (39)	3	140–277
ВЧ 700-2*	700 (70)	420 (42)	2	140–302
ВЧ 800-2*	800 (80)	490 (49)	2	140–351
ВЧ 900-2*	900 (90)	600 (60)	2	140–360
ВЧ 1000-2*	1 000 (100)	700 (70)	2	140–360

Чавуни всіх марок добре обробляються, але погано зварюються. Їх властивості визначають призначення чавунів від помірно навантажених (СЧ) до вібронавантажених.

Легований чавун зі спеціальними властивостями (з підвищеною жаростійкістю, корозієстійкістю, зносостійкістю або жароміцністю) застосовують для роботи деталей за температур до 500–700 °С. Їх марки і позначення, вимоги до хімічного складу і фізико-механічних властивостей повинні відповідати ДСТУ 8851:2019.

1.2.2 Виливки зі сталі

Сталь – сплав заліза з вуглецем та іншими елементами, що містить до 2,14 % вуглецю. Найбільша величина межі міцності σ_B і межі витривалості σ_{-1} досягається за вмісту вуглецю близько 0,9 %. Має гірші за чавун ливарні властивості. Застосовують для отримання виливків, які разом із високою міцністю повинні мати добрі пластичні характеристики.

У марці сталі перше число позначає середню або максимальну (за відсутності нижньої межі) масову частку вуглецю в сотих частках відсотка; літера за числом означає: А – азот, Б – ніобій, В – вольфрам, Г – марганець, Д – мідь, М – молібден, Н – нікель, Р – бор, С – кремній, Т – титан, Ф – ванадій, Х – хром, Ю – алюміній, Л – ливарна. Число, позначене після літери, означає масову частку легувального елемента у відсотках.

Залежно від призначення та якісних показників виливки з вуглецевих і легованих сталей поділяють на три групи (ДСТУ 8781:2018):

- виливки загального призначення, що контролюють за зовнішнім виглядом, розмірами та хімічним складом;
- виливки відповідальної призначеності, що контролюють за зовнішнім виглядом, розмірами, хімічним складом, механічними властивостями, межею плинності або тимчасовим опором та відносним подовженням;
- виливки особливо відповідальної призначеності, що контролюють за зовнішнім виглядом, розмірами, хімічним

складом, механічними властивостями, межею плинності або тимчасовим опором, відносним подовженням та ударною в'язкістю.

Для виготовлення виливків передбачено такі марки сталей (ДСТУ 8781:2018):

1) конструкційні нелеговані сталі: 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л;

2) конструкційні леговані сталі: 15ГЛ, 20ГЛ, 30ГЛ, 35ГЛ, 45ГЛ, 40Г1Л, 70ГЛ, 40ГТЛ, 55СЛ, 20ГСЛ, 30ГСЛ, 20Г1ФЛ, 15ГНЛ, 30ХЛ, 40ХЛ, 32ХЛ, 25ХГЛ, 35ХГЛ, 50ХГЛ, 60ХГЛ, 70Х2ГЛ, 20ФЛ, 40Г1ФЛ, 45ФЛ, 35ХГФЛ, 40ХФЛ, 30ХГ1, 35ХГСЛ, 20ХГСФЛ, 30ХГСФЛ, 30ХГФРЛ, 20ХМЛ, 20ХМФЛ, 30ХМЛ, 35ХМЛ, 40ХМЛ, 35ХМФЛ, 35ХНЛ, 40ХНЛ, 40ХН2Л, 30Г2МФРЛ, 30ХНМЛ, 75ХНМФЛ, 35НГМЛ, 20ГНМФЛ, 20ГНМЮЛ, 18ХГНМФЛ, 20ДХП, 08ГДНФЛ, 13ХНДФТЛ, 12ДН2ФЛ, 12ДХН1МФЛ, 23ХГС2МФЛ, 12Х7Г3СЛ, 25Х2ГНМФЛ, 27Х5ГСМЛ, 30ХЗС3ГМЛ, ОЗН12Х5МЗТЛ, ОЗН12Х5МЗТЮЛ;

3) сталі, леговані зі спеціальними властивостями:

а) корозійностійкі: 20Х13Л, 08Х14НДЛ, 09Х16Н4БЛ, 09Х17Н3СЛ, 10Х12НДЛ (мартенситного класу); 15Х25ТЛ (феритного класу); 15Х1 3Л, 15Х14НЛ, 15Х25ТЛ, 08Х12Н4ГСМЛ (мартенситно-феритного класу); 10Х18Н9Л, 12Х18Н9ТЛ, 10Х18Н11БЛ, 07Х17Н16ТЛ, 12Х18Н12МЗТЛ (аустенітного класу); 08Х15Н4ДМЛ, 08Х14Н7МЛ, 14Х18Н4Г4Л (аустенітно-мартенситного класу); 12Х25Н5ТМФЛ, 16Х18Н12С4ТЮЛ, 10Х18Н3ГЗД2Л, 12Х21Н5Г2СЛ, 12Х21Н5Г2СТЛ, 12Х21Н5Г2СМ2Л, 10Х20Н6Г2С2, 07Х18Н10Г2С2М2Л, 15Х18Н10Г2С2М2Л, 15Х18Н10Г2С2М2ТЛ (аустенітно-феритного класу);

б) жаростійкі: 20Х5МЛ, 20Х8ВЛ, 40Х9С2Л (мартенситного класу); 55Х18Г14С2ТЛ, 15Х23Н18Л, 20Х25Н19С2Л, 18Х25Н19СЛ, 45Х17Г13Н3ЮЛ (аустенітного класу); 35Х23Н7СЛ, 40Х24Н12СЛ, 20Х20Н14С2Л (аустенітно-феритного класу);

в) жароміцні: 20Х12ВНМФЛ (мартенситного класу); 35Х18Н24С2Л, 31Х19Н9МВБТЛ, 12Х18Н12БЛ, 08Х17Н34В5Т3Ю2РЛ, 15Х18Н22В6М2РЛ, 20Х21Н46В8РЛ (аустенітного класу);

г) швидкорізальні: Р6М5Л, Р6М4Ф2Л, Р6М5Ф3Л (мартенситного класу);

г) зносостійкі: 110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ, 120Г10ФЛ, 110Г13ФТЛ, 130Г17Х2Л, 130Г14ХМФАП (аустенітного класу).

Хімічний склад, режими термічного оброблювання та основні фізико-механічні властивості для кожної марки сталі наведено в ДСТУ 8851:2019.

Легована сталь має гірші ливарні властивості, ніж нелегована. Зі збільшенням вмісту вуглецю та легувальних елементів ливарні властивості сталей гіршають.

1.2.3 Виливки з кольорових металів

До кольорових металів відносять: алюміній, магній, цинк, мідь і сплави на їх основі.

До легкоплавких металів належать сплави (свинець, олово та ін.), температура плавлення яких менше ніж 232 °С.

До тугоплавких металів відносять сплави на основі титану, вольфраму, молібдену, ніобію, ванадію. Температура плавлення таких матеріалів становить 1 700–3 500 °С.

Алюміній і його сплави мають високу міцність, малу густину. Вони незамінні матеріали в авіапромисловості.

Для маркування алюмінієвих сплавів прийнято такі позначення: А – алюміній, К – силіцій, Ц – цинк, Мг – магній, М – мідь, Н – нікель, С – свинець, Мн – манган, Б – берилій, Ср – срібло, Ж – залізо, Мш – арсен, Су – стибій, Т – титан, Кд – кадмій, О – олово, Ф – фосфор, Х – хром. Цифри після літер – середній вміст хімічного елемента в сплаві. Літери вкінці позначають: ч – чистий, пч – підвищеної чистоти, оч – особливої чистоти, л – ливарні сплави, с – селективний.

Маркування та механічні властивості сплавів алюмінієвих ливарних наведено в таблиці 1.8.

Сплави цинку досить міцні, мають високу корозійну стійкість і можуть застосовуватися як антифрикційні матеріали та для захисту залізовмісних сплавів. Маркування та механічні властивості сплавів цинкових ливарних наведено в таблиці 1.9.

Мідь пластична, має високу електро- та теплопровідність, достатню міцність.

До мідних сплавів відносять бронзу і латунь. Латунь (мідно-цинкові сплави) має високу міцність і корозійну стійкість. Бронзи (сплави на мідній основі з додаваннями олова, алюмінію, кремнію, берилію) мають хороші антифрикційні та корозійні властивості.

До ливарних відносять магнієві сплави на основі системи Mg-Al-Zr типу МЛЗ, МЛ5 ($\sigma_B = 147\text{--}225$ МПа, $\delta = 2\text{--}5$ %); на основі Mg-Nb-Zr, Mg-Zn-Zr.

До деформованих відносять магнієві сплави на основі системи Mg-Mn типу МА1; МА8 ($\sigma_B = 240\text{--}260$ МПа, $\delta = 5\text{--}12$ %); Mg-Al-Zn, Mg-Nd тощо. Під час отримання форм для магнієвого литва враховують велику реакційну здатність магнію – до формувальних матеріалів додають сірку та борну кислоту. Під час заливання форми струмінні металу опилують сірчанним порошком. Сірка утворює пари і захисний сірчистий газ.

Титан має густину $4,6$ г/см³, $\sigma_B = 930$ МПа, твердість – 45 НВ. Жаростійкий і переносить окиснення до $400\text{--}500$ °С. Добре працює за температури рідкого азоту.

Ніобій має високу жароміцність, його застосовують для виготовлення деталей турбін, що працюють за температури $1\ 100\text{--}1\ 400$ °С. Жаростійкість і жароміцність дозволяють їх використовувати для роботи в тяжких умовах. Відливки з ніобію та його сплавів виготовляють спеціальними способами. Трудомісткість виготовлення велика.

Таблиця 1.8 – Марки та механічні властивості сплавів алюмінієвих ливарних (ДСТУ 2839-94)

Група сплаву	Марка сплаву	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне подовження, %	Твердість НВ
I Сплави на основі системи Al-Si-Mg	AK12, AK13, AK9, AK9с, AK9ч, AK9пч, AK8л, AK7, AK7ч, AK10Су	118–330	0,5–6,0	45–90
II Сплави на основі системи Al-Si-Cu	AK5M, AK5Mч, AK5M2, AK5M7, AK6M2, AK8M, AK5M4, AK8M3, AK8M3ч, AK9M2, AK12M2, AK12MMгH, AK12M2MгH, AK21M2,5H2,5	118–392	0,5–5,0	60–110
III Сплави на основі системи Al-Cu	AM5, AM4,5Кд	294–490	2,0–12,0	70–120
IV Сплави на основі системи Al-Mg	AMг4К1,5M, AMг5K, AMг5Mц, AMг6л, AMг6лч, AMг10, AMг10ч, AMг11, AMг7	147–343	0,5–15,0	55–104
V Сплави на основі системи Al-інші компоненти	AK7Ц9, AK9Ц6, АЦ4Mг	147–265	0,8–2,0	60–80

Таблиця 1.9 – Маркування та механічні властивості сплавів цинкових ливарних (ГОСТ 25140-93)

Марка сплаву	Спосіб лиття	Тимчасовий опір, МПа	Відносне подовження, %	Твердість НВ
ZnAl4A	Лиття в кокіль.	196	1,2	70
ЦА4о, ЦА4	Лиття під тиском	256	1,8	70
ZnAl4Cu1A	Лиття в кокіль.	215	1,0	80
ЦА4М1о, ЦА4 М1	Лиття під тиском	270	1,7	80
ЦА4 М1в	Лиття в кокіль. Лиття під тиском	196	0,5	65
ZnAl4Cu3A,	Лиття в піщані форми.	215	1,0	85
ЦА4М3о,	Лиття в кокіль.	235	1,0	90
ЦА4М3	Лиття під тиском	290	1,5	90
ЦА8М1	Лиття в кокіль. Лиття під тиском	235 270	1,5 1,5	70 90
ЦА30М5	Лиття в кокіль. Лиття під тиском	435 370	8,0 1,0	115 115

1.3 Технологічні властивості матеріалів литих заготовок

До ливарних властивостей матеріалів належать:

- рідкоплинність;
- усадка;
- схильність до утворення усадкових раковин і пор;
- стійкість до утворення тріщин;
- газопоглинання;
- ліквіація.

Рідкоплинність – здатність розплавленого металу заповнювати порожнину ливарної форми. Показник рідкоплинності – Кр. пл. Визначається відношенням значень рідкоплинності даного матеріалу та еталону, за який прийнята сталь 30Л.

Усадка – зменшення об'єму вилівка під час охолодження розплаву у формі до температури довіккілля. Існує лінійна та об'ємна усадки, які вимірюють у відсотках. Так, для сірого чавуну лінійна усадка найменша: 0,9–1,3 %. Сталі мають усадку 0,8–2,5 %, алюмінієві сплави – 0,9–1,45 %; мідні сплави – 1,4–2,3 %. Унаслідок нерівномірного охолодження та виниклого механічного гальмування усадки виникає напруження матеріалу, що призводить до появи гарячих тріщин.

Для попередження утворення усадкових раковин установлюють додатки – резервуари з розплавленим металом, а також зовнішні або внутрішні холодильники, які спрямовують процес кристалізації.

Газопоглинання – здатність ливарних сплавів у розплаві розчиняти гази. Високе газопоглинання призводить до появи у відливках газових раковин і пор. Для їх усунення застосовують плавлення у вакуумі.

Ліквіація – неоднорідність хімічного складу в різних частинах вилівка. Залежить від хімічного складу сплаву та умов утворення вилівка.

Контрольні питання

- 1 Від чого залежить вибір методу отримання заготовки?
- 2 Охарактеризуйте показники технологічності заготовки.
- 3 Як розраховують коефіцієнт використання матеріалу?
- 4 Як оцінюється трудомісткість виготовлення заготовки?
- 5 Як розраховують собівартість виготовлення заготовки?
- 6 Дайте розгорнуту класифікацію ливарних сплавів.
- 7 Дайте визначення поняття «чавун».
- 8 Розшифруйте умовне позначення чавуну СЧ250.
- 9 Розшифруйте умовне позначення чавуну КЧ 55-4.
- 10 Розшифруйте умовне позначення чавуну ВЧ 450-10.
- 11 Якими властивостями володіє легований чавун?
- 12 Зазначте максимально допустимий вміст вуглецю у сталях.
- 13 Дайте класифікацію виливків із вуглецевих і легованих сталей залежно від призначення та якісних показників.
- 14 Які марки сталей застосовують для виготовлення виливків?
- 15 Назвіть переваги та сфери застосування кольорових сплавів.
- 16 Які сплави на основі алюмінію застосовують для виготовлення виливків?
- 17 Які сплави на основі цинку застосовують для виготовлення виливків?
- 18 Які сплави на основі магнію застосовують для виготовлення виливків?
- 19 Охарактеризуйте технологічні властивості матеріалів литих заготовок.
- 20 Поясніть властивості матеріалу газопоглинання та ліквідації.

РОЗДІЛ 2 СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА ВИЛИВНИХ ЗАГОТОВОК, ЇХ ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1 Класифікація способів лиття

Процес виготовлення форми є найбільш трудомістким, а якість виготовлених форм значною мірою впливає на якість відливок, які виготовляють за допомогою цих форм. Основні способи лиття, що використовуються на сьогодні, можна подати у вигляді класифікації, що ґрунтується на визначенні форми, яку використовують під час заливання (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Класифікація способів лиття

2.2 Технологічні можливості способів лиття, сфера застосування

Технологічні можливості способу лиття визначають класом розмірної точності виливків, ступенем жолоблення, ступенем точності поверхонь, класом точності маси та іншими параметрами.

Відповідно до ДСТУ 8981:2020 для виливків різних способів установлені: 16 класів розмірної точності, 22 ступені точності, 11 ступенів жолоблення виливків, 16 класів точності маси.

Отримання конкретного класу точності розмірів пов'язане не лише з якітетом точності розмірів деталей, що отримують механічним обробленням, а й із типом виробництва (масове, серійне, одиничне), а також складністю форми виливка.

Класи точності розмірів виливків за ДСТУ 8981:2020 відповідають конкретному способу лиття якітету точності за ДСТУ ГОСТом 2.308:2013. Шорсткість поверхонь виливків залежить від ступеня точності, що досягається (ДСТУ 8981:2020). Із підвищенням числового значення ступеня точності виливка висота мікронерівностей стає більшою. Так, для литва в піщані форми ступінь точності для виливків із різних матеріалів знаходиться в межах 7,22, що відповідає шорсткості за критерієм Ra 8–100 мкм. Для виливків, отриманих спеціальними способами лиття, наприклад литвом під тиском, шорсткість поверхні за критерієм Ra близько 2 мкм.

Спеціальні способи лиття використовують у масовому, серійному та дослідному виробництвах (табл. 2.1 і 2.2), технологічність способів наведена в таблиці 2.3.

Аналіз способів лиття доцільно виконувати за табличною формою (табл. 2.4).

Квалітету точності розмірів заготовок після механічного оброблення ІТ 8, ІТ 9 відповідає за ДСТУ 8981:2020 1–3-ті класи точності розмірів литої заготовки, а для ІТ 10–ІТ 13 – 9–16-ті класи точності розмірів виливків.

Таблиця 2.1 – Способи виготовлення виливків та сфера застосування

Спосіб лиття	Матеріал	Маса вилівка, т	Сфера застосування та особливості способу
У піщані форми	Сталі, чавуни, кольорові метали та сплави	До 200	Виливки тіл обертання, станини, корпуси машин, головки і блоки двигунів внутрішнього згоряння
Під тиском	Сталі, магнієві, алюмінієві, цинкові та свинцево-олов'яні сплави	До 0,1	Трійники, деталі приладів, побутова техніка, блок двигуна внутрішнього згоряння
У металеві форми	Сталі, чавуни, кольорові метали та сплави	До 7	Фасонні виливки (поршні, коробки передач, корпуси)
За витоплюваними моделями	Високолеговані сталі та сплави, титан	До 15	Лопатки турбін, клапани, шестерні, різальний інструмент, тонкостінні виливки ($s = 0,8$ мм; діаметр отворів до 1 мм)
В оболонкові форми	Сталі, чавуни, кольорові сплави	До 40	Відповідальні фасонні дрібні та середні виливки, точні виливки з низькою шорсткістю, станини молотів

Таблиця 2.2 – Класифікація виливків за призначенням

Група	Призначення	Характеристика
1-ша	Виливки невідповідального призначення	Виливки деталей, які не досліджують на міцність
2-га	Виливки відповідального призначення	Виливки деталей, які досліджують на міцність; виливки, що працюють за статичних навантажень, а також в умовах тертя та ковзання
3-тя	Виливки особливо відповідального призначення	Виливки деталей, які досліджують на міцність та працюють в умовах динамічних і знакозмінних навантажень

Таблиця 2.3 – Матеріали, які використовують за різних способів лиття

Спосіб лиття	Коефіцієнт		
	виходу придатного лиття	масової точності	використання матеріалу
У піщані форми	0,3–0,5	0,6–0,7	0,2–0,35
В оболонкові форми	0,5–0,6	0,85–0,9	0,4–0,55
У металеві форми (кокіль)	0,4–0,5	0,7–0,75	0,3–0,4
За витоплюваними моделями	0,6–0,8	0,85–0,9	0,5–0,75
Під тиском	0,6–0,8	0,95–0,98	0,6–0,8
Відцентрове лиття	0,4–0,5	0,7–0,8	0,3–0,4
Середнє значення	0,45–0,65	0,8–0,85	0,4–0,6

Таблиця 2.4 – Порівнювальне оцінювання способів лиття

Техніко-економічний показник	Спосіб лиття			
	у піщано-глинисті форми	в оболонкові форми	під тиском	у кокіль
Необмеженість розмірів виливків	1	3	5	2
Вплив конфігурації виливків	2	3	5	4
Можливість використання різних сплавів	1	2	5	4
Вартість оснащення	1	3	5	4
Час на освоєння технології	1	4	5	2
Найменша економічно доцільна партія	1	3	5	4
Продуктивність	4	3	1	2
Збільшення економічної доцільності зі збільшенням партії	4	3	1	2
Шорсткість поверхонь виливків	5	3	1	4
Товщина стінок виливків	4	3	1	5
Величина припусків на механічне оброблення	5	3	1	3
Можливість механізації та автоматизації	5	4	1	1

Примітка. Чим вища ефективність, тим менший коефіцієнт

Контрольні питання

- 1 Дайте розгорнуту класифікацію способів лиття.
- 2 Якими характеристиками визначають технологічні можливості способу лиття?
- 3 Назвіть класи точності розмірів виливків.
- 4 Дайте характеристику способу лиття в піщані форми.
- 5 Дайте характеристику способу лиття під тиском.
- 6 Дайте характеристику способу лиття в металеві форми.
- 7 Дайте характеристику способу лиття за витоплюваними моделями.
- 8 Дайте характеристику способу лиття в оболонкові форми.
- 9 Назвіть раціональні сфери застосування різних способів лиття.
- 10 Дайте класифікацію виливків за призначенням.
- 11 Які властивості властиві матеріалам за різних способів лиття?
- 12 Зробіть порівняльний аналіз способів лиття.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНЬ ЗАГОТОВОК, ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО НИХ

3.1 Вибір способу виготовлення виливків та їх положення у формі

Вибір способу лиття визначається: матеріалом виливка, складністю конструкції, серійністю виробництва, вартістю.

Усі виливки за складністю конфігурації поділяють на шість груп:

1 Площинні виливки загального призначення: кришки, плити, маховики без спиць, вантажі, диски, балки та інші (рис. 3.1).

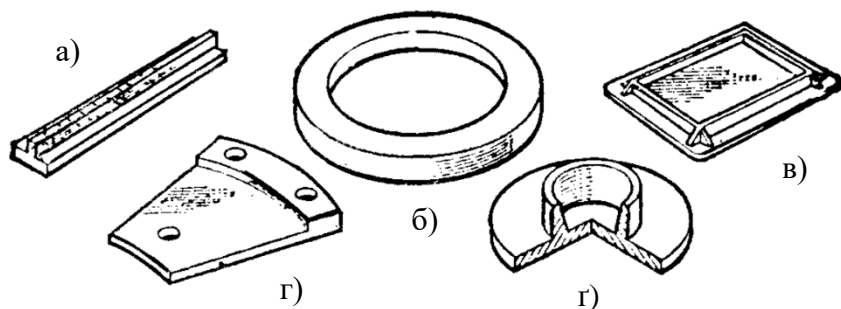


Рисунок 3.1 – Виливки 1-ї групи складності (прості):
а) балка; б) бандаж; в) плита; г) пластина; г) кришка

2 Виливки відкритої коробчастої форми: ковпаки, колеса та ролики зі спицями, барабани для млинів, кронштейни та інші (рис. 3.2).

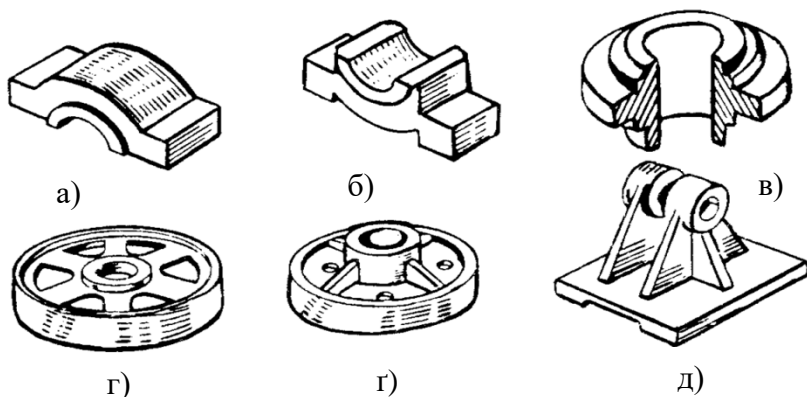


Рисунок 3.2 – Виливки 2-ї групи складності (прості):
 а) кришка підшипника; б) корпус підшипника; в) маточина;
 г) зубчасте колесо; е) ролик; д) кронштейн

3 Виливки відкритої коробчастої або циліндричної форми: шків, корпуси та кришки редукторів, ребристі циліндри, зубчасті колеса з литими зубцями, кронштейни, трійники та інші (рис. 3.3).

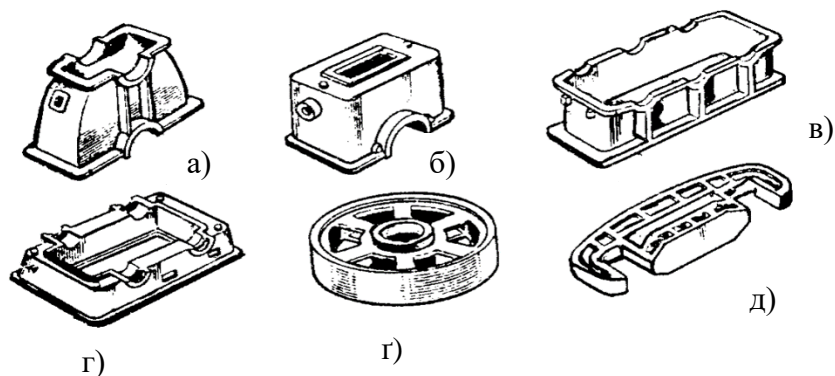


Рисунок 3.3 – Виливки 3-ї групи (середньої складності):
 а) корпус; б) кришка редуктора; в), г) підставки;
 е) зубчасте колесо; д) рама балансира

4 Виливки закритої та частково відкритої коробчастої або циліндричної форми: станини, столи, основи пресів, молотів, корпусів насосів та інші (рис. 3.4).

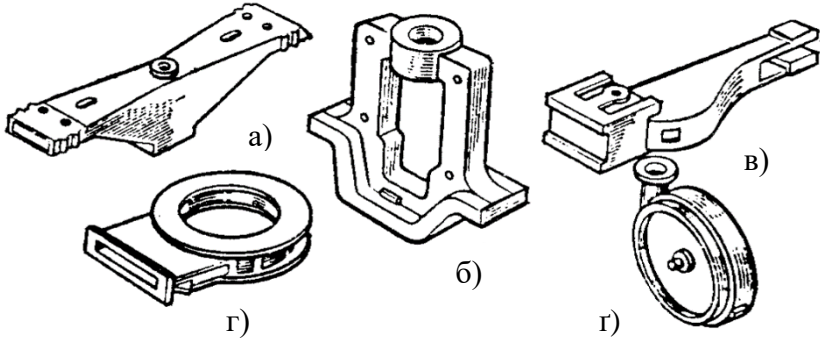


Рисунок 3.4 – Виливки 4-ї групи (середньої складності):
а) шкворнева балка; б) станина верстата; в) повзун;
г) корпус шибера; г) равлик

5 Виливки закритої коробчастої та циліндричної форми особливо відповідального призначення, а також комбіновані для виготовлення станин металорізальних верстатів, фасонних сталевих циліндрів та інші (рис. 3.5).

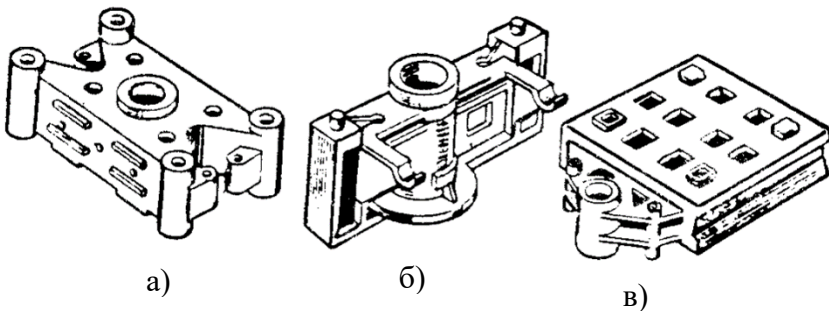


Рисунок 3.5 – Виливки 5-ї групи (складні):
а), б) траверси; в) станина

б Виливки закритої коробчастої, циліндричної форм. Внутрішні порожнини особливо складної конфігурації, з наявністю стрічкових і кільцевих каналів, розміщених у два та більше ярусів. Типові виливки – гідравлічні коробки, блоки циліндрів, що випрямляють апарати, та інші (рис. 3.6).

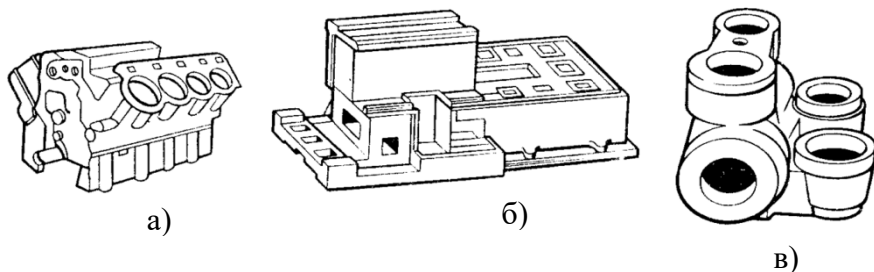


Рисунок 3.6 – Виливки 6-ї групи (складні):
а) блок циліндрів; б) станина; в) гідравлічна коробка

Положення вилівка у формі визначається способом лиття, складністю конструкції деталі, точністю розмірів, товщиною її стінок і повинна забезпечуватися напрямленою кристалізацією. Остання повинна йти в напрямку знизу вверх, тобто в частині відливання (випори, додатки), що видаляються під час обрубання, очищення. Поверхні з точними розмірами розміщуються в одній півформі – нижній. Умовне положення вилівка у формі для тіл обертання показано на рисунку 3.7.

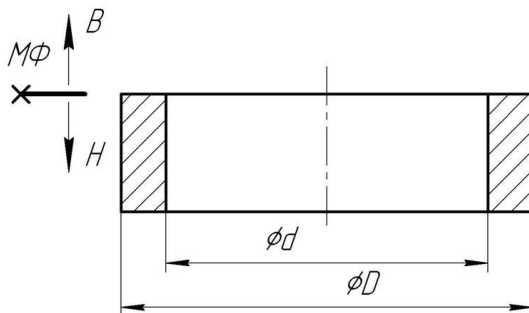


Рисунок 3.7 – Положення площини рознімання для лиття підшипника в піщаній формі

Можливість використання однієї площини рознімання визначається за правилом світлових тіней. На відливанні не повинно бути затемнених ділянок у напрямку, перпендикулярному до площини рознімання, за уявного її освітлення (рис. 3.8).

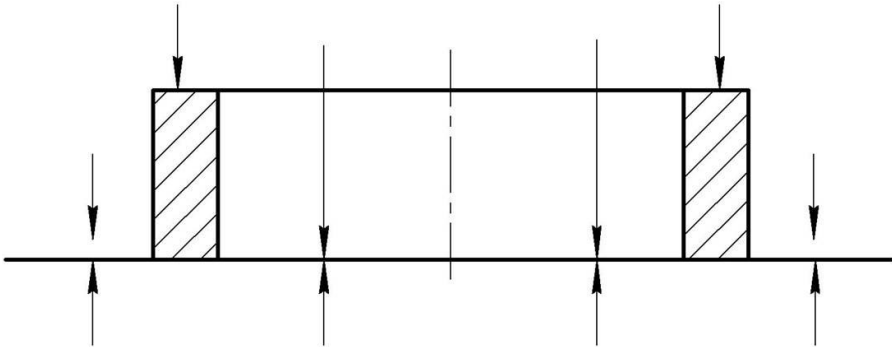


Рисунок 3.8 – Рациональна конструкція виливка

3.2 Технологічність виливків

Технологічність литої деталі – конструктивні особливості, які за найкращої відповідності призначенню деталі забезпечують мінімальний рівень витрат на її виготовлення.

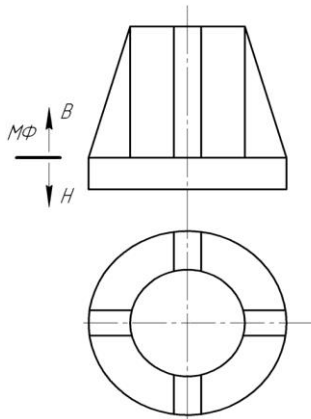
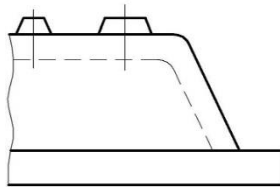
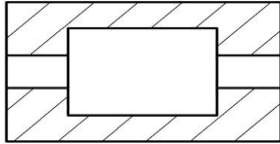
Показники технологічності:

- мінімальні витрати в ливарному виробництві за максимального коефіцієнта використання матеріалу;
- максимальний коефіцієнт обробленої поверхні (відношення необробленої різанням поверхні до всієї деталі);
- мінімальна собівартість литої деталі;
- максимальне зменшення маси виливка (прагнуть забезпечити мінімальну кількість поверхонь рознімання моделі та форми, до внутрішніх порожнин додають прості контури).

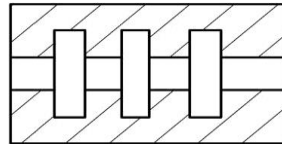
Приклади забезпечення технологічності для різних конструктивних елементів наведені на рисунку 3.9. Під час проектування внутрішніх циліндричних поверхонь потрібно уникати поверхонь, які відрізняються за розмірами, а віддавати перевагу одному типорозміру конструктивних елементів. Під

час проєктування бобишок необхідно забезпечити їх розмір, що дозволить зменшити трудомісткість операцій механічного оброблення. Ребра розміщують у площині рознімання форми та перпендикулярно до неї.

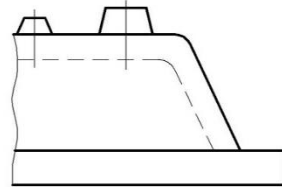
Технологічна деталь



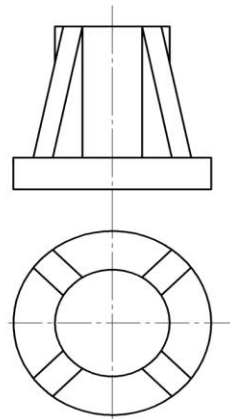
Нетехнологічна деталь



а)



б)



в)

Рисунок 3.9 – Приклади забезпечення технологічності деталей:
а) внутрішні циліндричні поверхні; б) бобишки; в) ребра

Нахили у виливках беруть залежно від висоти моделей і їх матеріалів. Радіуси закруглень – за довідковими даними [11]. Для усунення усадкових раковин у виливках користуються

правилом А. Геверса (вписаних кіл). Коло, вписане в стінку виливка, повинне викотитися до додатка (рис. 3.10).

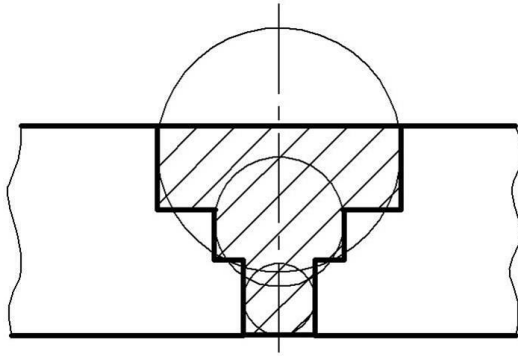


Рисунок 3.10 – Правильно вибраний переріз виливка

3.3 Розроблення креслення виливків

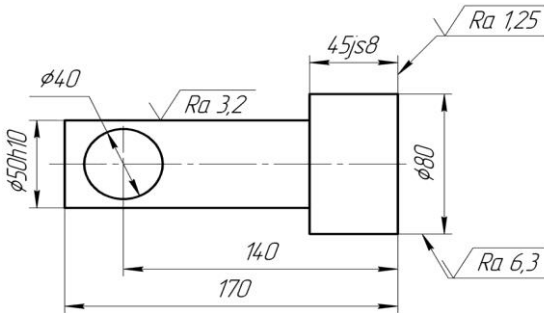
Для розроблення креслень виливків необхідно, по-перше, визначити вихідні дані з креслення деталі: матеріал деталі, густину. По-друге, тип виробництва. По-третє, обрати спосіб одержання виливка.

Проектну роботу виконують відповідно до алгоритму:

- призначають граничні відхилення на номінальні розміри деталі;
- визначають допуск на кожен розмір;
- визначають складність виливка;
- визначають положення виливка у формі;
- установлюють рівень точності оброблення виливка;
- призначають ступінь точності поверхонь виливка;
- призначають допуски розмірів поверхонь виливка;
- визначають ступінь викривлення виливка;
- визначають ряд припусків на оброблення виливка;
- визначають допуск зсуву виливка за площиною рознімання;
- установлюють вид остаточного механічного оброблення;
- установлюють загальний допуск елементів виливка;

- установлюють загальний припуск на оброблення;
- визначають виконавчі розміри виливка;
- визначають масу виливка;
- призначають ливарні радіуси та уклони.

На рисунку 3.11 подане креслення деталі, а на рисунку 3.12 – креслення виливка.

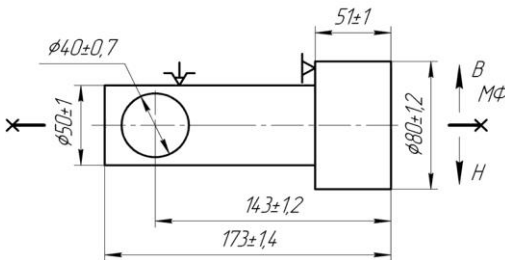


1 $HB \leq 50$.

2 Незазначені фаски
0,8×45°.

3 H14, h14, ±IT14/2

Рисунок 3.11 – Креслення деталі: вісь (AK5M ДСТУ 2839-94)



Технічні умови:

1 $HB \leq 50$.

2 Ливарні уклони – 1°.

3 Ливарні радіуси – 6 мм.
4 Точність виливка – 9-3-9-9т СМ 1,2 ГОСТ 26645-85.

5 Маса виливка – 1,1-0,283-0,007-1,39
ГОСТ 26645-85

Рисунок 3.12 – Креслення виливка деталі:
вісь (AK5M ДСТУ 2839-94)

Контрольні питання

- 1 Чим обґрунтовується вибір способу лиття?
- 2 Дайте класифікацію виливків за складністю конфігурації.
- 3 Назвіть критерій оцінювання ступеня складності виливків.
- 4 Назвіть чинники, що визначають технологічність вилівка.
- 5 Що впливає на визначення площини рознімання моделі та форми?
- 6 Дайте визначення поняття «технологічність вилівка».
- 7 Охарактеризуйте показники технологічності литої деталі.
- 8 Що визначає вибір способу виготовлення вилівка?
- 9 Що потрібно для розроблення креслення вилівка?
- 10 Назвіть алгоритм під час розроблення креслення вилівка.

РОЗДІЛ 4 ВИДИ ЛИВАРНИХ ФОРМ І СПОСОБИ ЛИТТЯ

4.1 Лиття в піщані форми

4.1.1 Якість та технологічність заготовки

Технологічна універсальність лиття в піщані форми зумовлює його економічну доцільність для одиничного, серійного та масового виробництва. Цим способом виготовляють до 60 % від усієї кількості виливків. Точність виливків – 14–20-й квалітети, шорсткість поверхні Rz 40–400 мкм. Максимальний коефіцієнт масової точності становить 0,71; коефіцієнт виходу придатного металу – 0,3–0,5.

Типова технологія виготовлення виливків складається з таких етапів:

- нанесення на креслення деталі контурів моделі та відповідних ливарних вказівок;
- розроблення технологічної карти. Записують послідовність виконання операцій і спосіб виготовлення виливків, наводять перелік вказівок із виготовлення модельного комплексу, стрижневих ящиків, виготовлення форми та стрижнів, заливки металу, вирубубування виливка з форми, очищення, термооброблення та контролю;
- розроблення креслення (або ескізу) складної форми зі всіма необхідними перерізами та розмірами.

Процес виготовлення виливків передбачає:

- виготовлення моделей і стрижневих ящиків;
- приготування формувальних і стрижневих сумішей;
- виготовлення форм і стрижнів;
- складання та заливання форм;
- вибивання виливків із форм, очищення та обрубубування виливків;
- термічне оброблення.

4.1.2 Способи формування та обладнання

Формування – це процес виготовлення ливарних форм із формувального матеріалу.

Операції формування:

- ущільнення формувальної суміші;
- утворення у формі вентиляційних каналів;
- видалення моделі з форми;
- складання форми.

Формування може виконуватися вручну, на спеціальних формувальних машинах або на автоматичних лініях.

Існує декілька основних способів ручного формування (рис. 4.1): формування в ґрунті, формування в опоках.

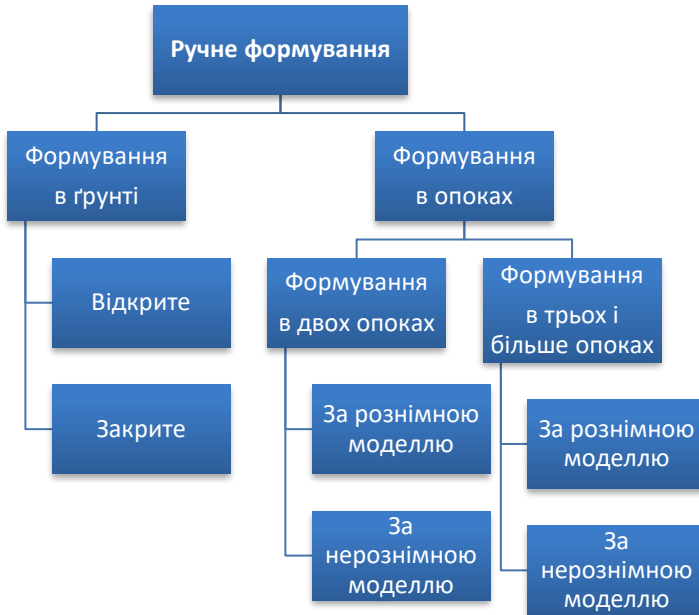


Рисунок 4.1 – Класифікація способів ручного формування

Формування в ґрунті – процес виготовлення форм на земляному плаці формувального відділення. Спосіб простий, не вимагає спеціального устаткування, проте має великий обсяг

ручних робіт, які виконують формувальники високої кваліфікації.

Відкрите ґрунтове формування застосовують для виготовлення виливків із плоскою верхньою стороною (рис. 4.2 а, б).

Для виготовлення великих і важких виливків застосовують закрите ґрунтове формування, за якого верхня частина виливка виходить в опочі, а нижня – у твердій постілі (рис. 4.2 в).

Формування у двох опоках за рознімною моделлю є найпоширенішим способом виготовлення разових піщаних форм. Рознімну модель застосовують зазвичай у тих випадках, коли модель не має плоскої поверхні (рис. 4.3).

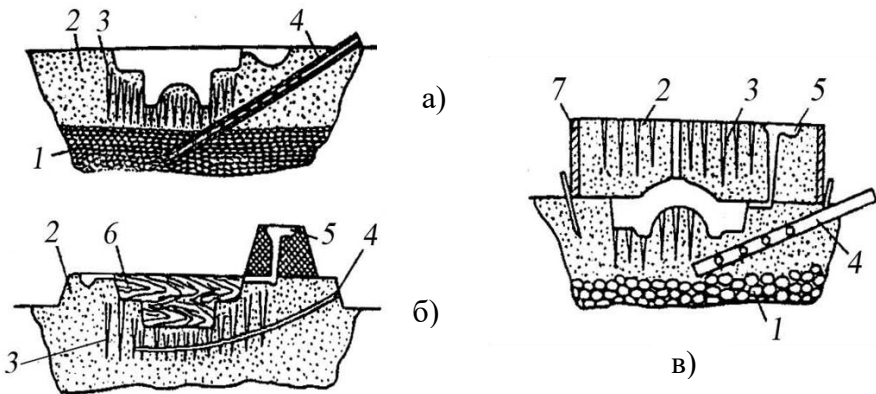


Рисунок 4.2 – Формування у ґрунті:

а), б) відкрите формування; в) закрите формування;

1 – ліжко; 2 – земля; 3, 4 – вентиляційні канали;

5 – система ливника; 6 – модель; 7 – опока

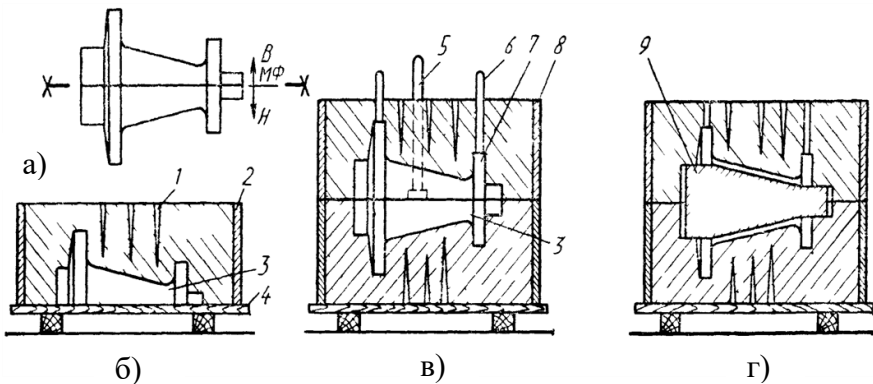


Рисунок 4.3 – Виготовлення форми у двох опоках за рознімною моделлю: а) положення виливка у формі; б) одна з півформ виливка; в) пристрій живильної системи ливника та інші елементи; г) розміщення стрижня в опоці;
 1 – вентиляційні канали; 2 – нижня опока; 3 – нижня половина моделі; 4 – модельна плита; 5 – стояк; 6 – випор; 7 – верхня половина моделі; 8 – опока; 9 – стрижень

Інколи під час виготовлення складних виливків одна площина рознімання не дозволяє витягувати модель із верхньої і нижньої півформ. У цих випадках застосовують формування в трьох і більшій кількості опок, тобто форма має дві і більше поверхонь рознімання.

Сутність технології виготовлення форм із рідких самотверднучих сумішей ґрунтується на додаванні до звичайних піщаних сумішей хімічних домішок, під дією яких суміш переходить у сметаноподібний стан, унаслідок цього стало можливим заливання рідкої суміші в опоки.

Усувається ручна праця під час набивання форм із рідких самотверднучих сумішей, причому суміші самотверднуть за всім обсягом матеріалу.

Машинне формування забезпечує високі вимоги, що ставляться до виливків.

Основні технологічні особливості машинного формування такі:

- виготовлення форм у двох опоках;
- заміна всіх бічних відокремлених частин моделі стрижнями.

Застосовується формування в двох опоках за рознімною або нерознімною моделлю.

За методами ущільнення змішувальні формувальні машини (рис. 4.4) класифікують так:

- струшувальні;
- пресові;
- імпульсні;
- піскодувні;
- піскомети;
- вакуумні;
- спеціальні.

Рівномірне ущільнення суміші досягається підвищенням питомого тиску пресування. На пресових машинах застосовують тиск до 5–10 МПа і вище (рис. 4.5). Отримують вилівки з точнішими розмірами та меншими значеннями шорсткості.

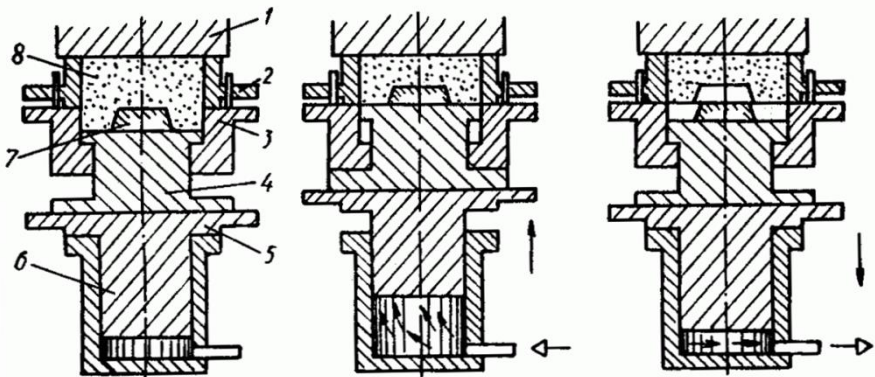
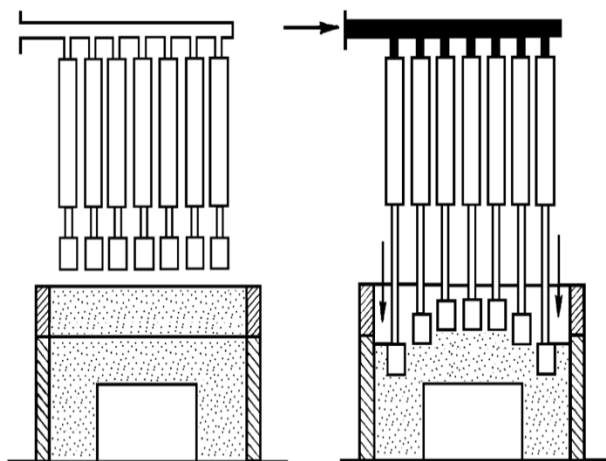


Рисунок 4.4 – Схема формувальної машини:

- 1 – плунжер; 2 – опока; 3 – стіл; 4 – плита модельна; 5 – корпус;
6 – поршень; 7 – модель



а)

б)

Рисунок 4.5 – Ущільнення формувальної суміші пресою багатоплунжерною головкою:

а) початкове положення; б) кінцеве положення

Формування способом СЕЙАТСУ під високим тиском розроблене в Німеччині. Це двопозиційна карусель для виготовлення разових півформ (рис. 4.6). На першій позиції машини виготовляється засипка формувальної суміші в опоку, на другій – ущільнення формувальної суміші пневмопотокком (динамічна дія на формувальну суміш стисненим повітрям, $P = 0,6 \text{ МПа}$) із подальшим верхнім пресуванням плоскою плитою. Технічна характеристика установки наведена в таблиці 4.1.



Рисунок 4.6 – Загальний вигляд формувальної машини типу HSP фірми HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINENFABRIK GMBH (Німеччина) [<https://www.wagner-sinto.de>]

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики формувальної машини типу HSP моделі 4841 фірми HEINRICH WAGNER SINTO MASCHINENFABRIK GMBH (Німеччина)

Показник	Значення
Розміри опоки, мм	800 × 700 × 300
Режим роботи	Автоматичний
Тип привода	Гідравлічний, пневматичний, електричний
Потужність, кВт	22,6
Продуктивність, форм/год	50
Габаритні розміри, мм	4 000 × 3 000 × 3 800
Маса, кг	15 000

Принцип роботи такий: гідроциліндри столу притискують опоку та модельно-опоковий комплект із формувальною сумішшю до імпульсно-пресової головки. Відкриваються короткочасно два повітряні клапани та за повітряним потоком набувають руху циліндри пресування, на

штоках яких закріплена пресова плита-розсікач повітряного потоку. Після закінчення пресування плита-розсікач повертається в первинне положення, стіл опускається разом з оснащенням, займаючи попереднє положення (рис. 4.7).

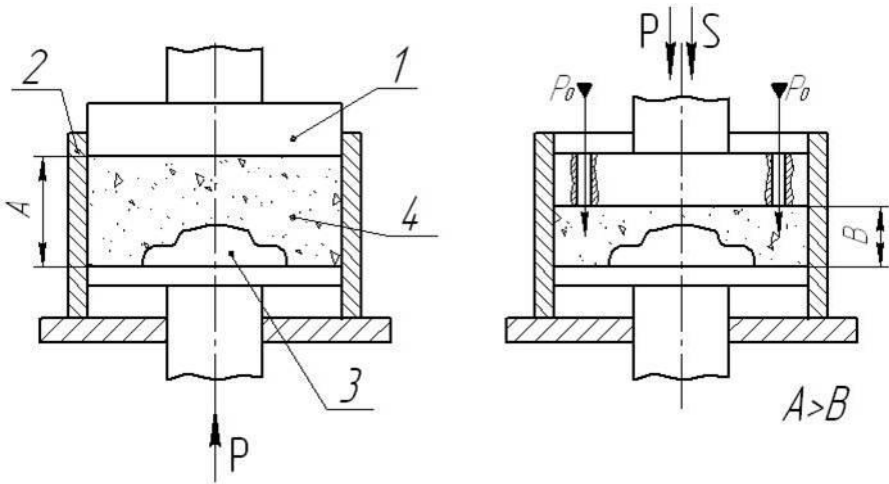


Рисунок 4.7 – Схема формування:

1 – плита-розсікач; 2 – опока; 3 – модель із підмодельною плитою; 4 – суміш піщана

4.1.3 Вибивання, обрубання та очищення виливків

На потокових і автоматичних лініях виливки видавлюють із опоки з грудкою суміші, а потім звільняють від суміші на вибивних ґратах. Залишки стрижнів після вибивання з форм видаляють із виливків пневматичними зубилами, на вібраційних машинах, у гідравлічних камерах та електрогідравлічних установках. Виливки від ливників відокремлюють за допомогою молотків і пневматичних зубил, абразивних кругів та пресів, стрічкових і дискових пил, також використовують дугове, газове або анодно-механічне різання. У деяких випадках додатки відрізають на токарних верстатах.

Ливники від чавунних виливків легко відбиваються за слабкого удару. Від дрібних виливків вони відділяються

переважно під час вибивання форм. Ливники, що залишилися на виливках, відбивають молотками або обламують на пресах. Додатки та ливники від великих виливків із вуглецевих і низьколегованих сталей відокремлюють дуговим і газовим різанням. Для сталевих виливків застосовується механічне або анодно-механічне різання. Стрічкові та дискові пили, механічні преси широко застосовують для відрізання ливників і додатків від виливків з алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів.

Для видалення пригару та поліпшення якості поверхонь виливки піддають очищенню галтуванням, дробоструминному, дробометальному, вібраційному, електрохімічному обробленню тощо. Очищення виливків галтуванням здійснюється в барабанах унаслідок їх взаємного тертя. Дробоструминному очищенню не можна піддавати виливки із м'яких сплавів, оскільки це призводить до погіршення якості їх поверхонь. Для очищення виливків з алюмінієвих сплавів замість чавунного дробу використовують шматочки алюмінієвого дроту.

Чавунні та сталеві виливки зазвичай піддають дробометальному очищенню. На поверхню, що очищається, дріб подається металевими головками 1 (рис. 4.8) у вигляді турбін, що обертаються з частотою до 3 000 об/хв. Дріб, що викидається великою відцентровою силою, вдаряється об поверхню виливків 2 і очищає її під час обертання підвіски 3.

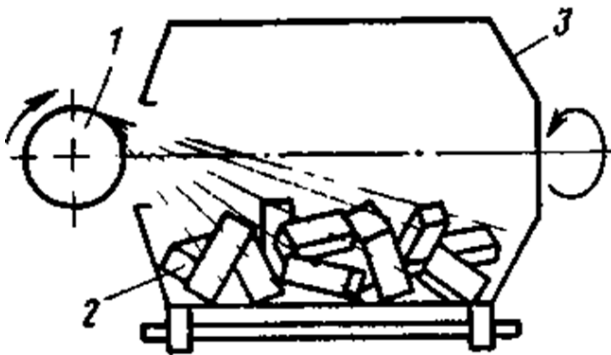


Рисунок 4.8 – Схема дробометального очищення виливків

У сучасних великих ливарних цехах використовують комплексні установки для очищення виливків. Наприклад, потокова лінія очищення містить вибивні ґрати, галтувальний барабан, дробометальні установки, верстати для зачищення та систему конвеєрів для передавання виливків з однієї операції на іншу.

4.1.4 Термічне оброблення виливків

Вид термічного оброблення (відпал, нормалізація, гартування, відпуск) визначається природою сплаву, конфігурацією вилівка та технічними умовами.

У чавунних виливках термічне оброблення застосовується для зняття внутрішнього напруження, стабілізації розмірів, зниження твердості та поліпшення оброблюваності, підвищення механічних властивостей або зносостійкості. Графітізувальний відпал (850–980 °С) застосовується для графітізації первинних карбідів у чавунах усіх видів. Під час одержання ковкого чавуну з білого цей вид термічного оброблення є обов'язковим. За нормалізації та гартування чавунних виливків покращуються механічні властивості.

Сталеві виливки піддають термічному обробленню двома етапами (відпал і нормалізація) для зняття внутрішнього напруження, подрібнення структури та зменшення твердості перед механічним обробленням. За остаточного термічного оброблення сталеві виливки піддають нормалізації та відпуску, гартуванню й відпуску. Якість виливків з алюмінієвих і магнієвих сплавів поліпшують шляхом старіння, відпалу, гартування або гартування з подальшим штучним старінням.

4.1.5 Дефекти виливків і способи їх усунення

Найпоширенішими дефектами виливків є (рис. 4.9, 4.10) (визначення відповідно до ДСТУ 9051:2020):

- недоливи – дефект у вигляді неповного утворення виливка внаслідок незаповнення порожнини ливарної форми металом під час заливання;

- викривлення – дефект у вигляді спотворення розмірів і конфігурації виливки під впливом внутрішніх напружень, що виникають за нерівномірного охолодження окремих її частин;

- наріст – дефект у вигляді виступу довільної форми, який утворився із забрудненого формувальними матеріалами металу внаслідок місцевого руйнування ливарної форми;

- тріщини – гарячі, холодні, міжкристалічні:

- гаряча тріщина (усадкова тріщина) – дефект у вигляді розриву або надриву тіла виливка усадкового походження, які виникли в інтервалі температур тверднення;

- холодна тріщина (бій) – дефект у вигляді розриву тіла затверділого виливка внаслідок внутрішніх напружень або механічного впливу;

- міжкристалічна тріщина – ефект у вигляді розриву тіла виливка під час його охолодження у формі на межах первинних зерен аустеніту в температурному інтервалі розпаду;

- газова раковина – дефект у вигляді порожнини, утвореної газами, які виділилися із металу або які проникли в метал;

- шлакова раковина – дефект у вигляді порожнини, яка повністю або частково заповнена шлаком.

Виправляють дефекти у виливках просоченням, зачищенням, заварюванням, металізацією тощо.

Просочення є основним способом виправлення пористих виливків. Просочення виливка виконують для поліпшення його герметичності, внутрішньої антикорозійності. Для просочення широко використовують бакелітовий та асфальтовий лаки, натуральну оліфу, рідке скло та етилсилікат. Зачищення виливків здійснюють ручним способом, на шліфувальних і наждачних верстатах, у галтувальних барабанах, що

обертаються, піскоструминним способом тощо. Заварювання застосовується для видалення зовнішніх раковин.

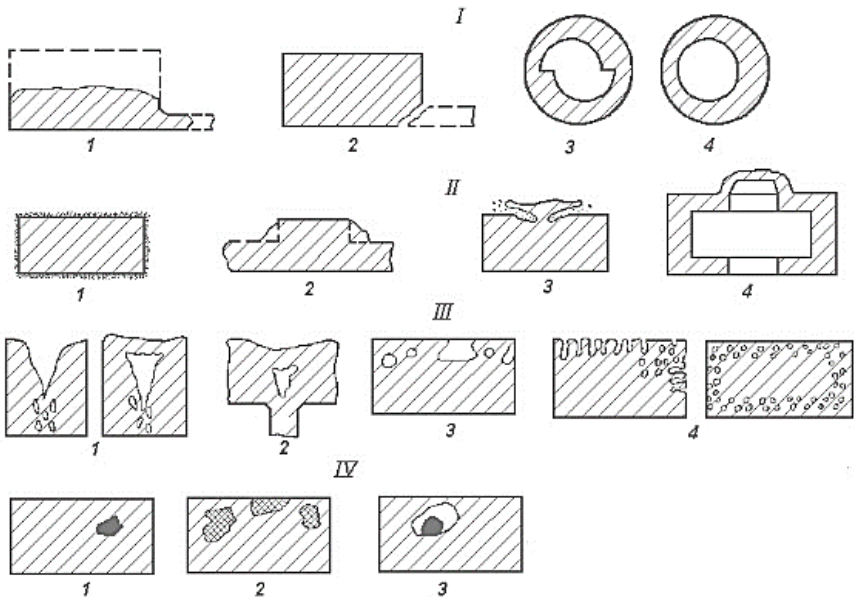


Рисунок 4.9 – Схеми дефектів виливків:

I група – невідповідність геометрії: 1 – недолив; 2 – вилом;
3 – перекіс; 4 – різностінність;

II група – поверхневі дефекти: 1 – пригар; 2 – наріст;
3 – стиснення; 4 – заливання;

III група – несучільності в тілі вилівки: 1 – усадкові раковини;
2 – газові раковини; 3 – пористість;

IV група – включення: 1 – металеві;
2 – неметалеві (піщані раковини); 3 – корольок

Дефекти механічно оброблених сталевих виливків виправляють паянням. Для паяння застосовують тверді припої Cu–Ni, Cu–Ag та інші. Поверхневі дефекти усуваються пастами, що складаються з наповнювача (кам'яного борошна, цементу, металевої стружки), з'єднуваного (рідкого скла, епоксидної смоли) та заверджувача.



а)



б)



в)



г)



г)

Рисунок 4.10 – Фотографії дефектів відливок: а) недоливи; б) гаряча тріщина; в) холодна тріщина; г) раковини; г) корольок

4.2 Спеціальні способи лиття

4.2.1 Лиття в кокіль

Сутність процесу лиття в кокіль: розплав заповнює форму під дією сил гравітації.

Кокіль – металева форма, робочі стінки якої виконані з чавуну, сталі, міді або алюмінію (АК7Ц9) з водоохолоджувачем. Стінки кокілю мають покриття тонкошарові (фарби) і товстошарові. Для великих виливків його величина не менше ніж 30 мм. Його використовують багаторазово. За його допомогою виготовляють виливки зі сталі, чавуну та кольорових металів у серійному та масовому виробництвах.

За конструктивним принципом кокілі поділяють на рознімні (з вертикальною, горизонтальною криволінійною площиною рознімання) та нерознімні.

Кокілі можуть бути з повітряним, рідинним або комбінованим охолодженням.

Під час лиття в кокіль чавуну поверхневі шари тонкостінних виливків тверднуть із досить великою швидкістю, що призводить до утворення в металі структурно-вільного цементиту (вібілу). Утворюються висока твердість матеріалу (HV600) і крихкість, що ускладнює оброблення різанням. Для усунення вібілу відливки зазнають відпалу, що подовжує технологічний цикл лиття, збільшує енерговитрати.

Для запобігання вібілу було розроблено новий технологічний процес лиття в кокіль (рис. 4.11), що дозволив змінити теплові умови затвердіння відлиття.

Сутність процесу полягає в тому, що розплав заливають у стулкову форму кокілю. Він призначений для виготовлення заготовок, які мають внутрішні поверхні обертання, наприклад гільз двигунів внутрішнього згоряння. Розплав, що знаходиться в кокілі, контактує з одного боку з його металевою поверхнею, що забезпечує формоутворення зовнішньої поверхні заготовки, а з іншого – зі стрижнем. У зв'язку з тим, що теплопровідність металевих стінок кокілю вища, то в цій зоні починається затвердіння металу.

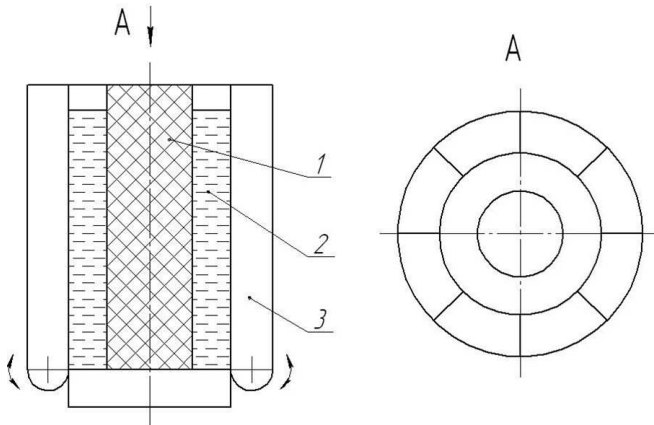


Рисунок 4.11 – Спрощена конструкція стулкового кокілю:
 1 – стрижень; 2 – розплав для гільзи двигуна внутрішнього згоряння; 3 – стулка

Як тільки утворюється затверділий шар, здатний утримувати решту розплаву, стулки кокілю відводять на певну відстань і подальше затвердіння розплаву відбувається на повітрі. Оскільки теплопровідність повітря нижча порівняно з матеріалом стрижня (піщано-глинистої суміші), застигання розплаву відбувається повільно, без утворень вибілу.

Запобігання утворенню у виливках із сірого чавуну вибілу та зменшення схильності до тріщин досягається також збільшенням у ньому вмісту вуглецю (3,5–3,8 %) і кремнію (2–2,5 %), його модифікацією феросиліцієм, силікокальцієм та іншими модифікаторами.

Литтям у кокіль на автоматизованих лініях виготовляють із сірого чавуну корпуси редукторів, блоки й головки блоків двигунів внутрішнього згоряння, станини електродвигунів, розподільчі вали, гільзи двигунів внутрішнього згоряння та інші; з високоміцного чавуну – колінчасті вали. Зі сталі виготовляють деталі тракторів, залізничних вагонів тощо.

Під час використання рідкоскляних сумішей для облицювання кокілів виготовляють виливки до 10 т зі сталі та чавуну масою до 15 т, що розширює його можливості.

4.2.2 Лиття під тиском

Сутність процесу лиття під тиском: розплав заповнює порожнину і твердне під тиском. Литі заготовки отримують під високим і регульованим тиском.

Цей спосіб порівняно з іншими способами лиття найбільш точний. Виготовляють виливки з магнієвих, цинкових сплавів і латуні, бронзи, титану, сталі та чавуну.

На рисунку 4.12 зображена технологічна схема отримання вилівка. Швидкість переміщення розплаву $V = 100$ м/с, $P = 10\text{--}11$ МПа для цинку.

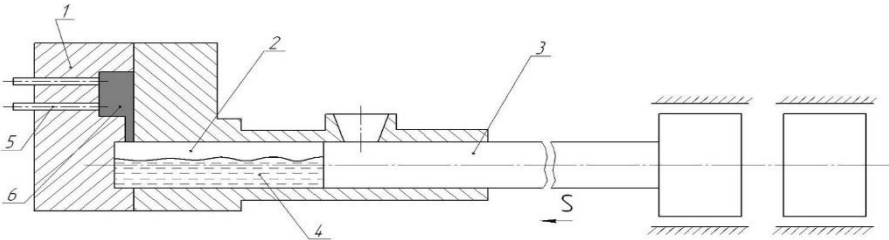


Рисунок 4.12 – Умовна схема холодної горизонтальної камери пресування: 1 – форма; 2 – камера пресування; 3 – поршень; 4 – розплав; 5 – виштовхувачі виливків; 6 – виливок

Основні регульовані способи лиття під низьким тиском, з протитиском, вакуумним усмоктуванням.

Під час лиття під низьким тиском тиск газу у формі (рис. 4.13 а) дорівнює атмосферному ($P_{\text{ф}} = P_{\text{атм}}$). Заливання металу здійснюється під надмірним тиском над дзеркалом розплаву у ванні.

Лиття з протитиском ґрунтується на знаходженні у формі стисненого газу (рис. 4.13 б), що протилежно за ефектом лиття з вакуумним усмоктуванням (рис. 4.13 в).

Якість виливків – точність розмірів підвищується на 1–2 класи порівняно з кокільним литтям, зменшуються припуски на оброблення вдвічі, в 1,5–2 рази підвищується продуктивність (менший час затвердіння вилівка). Виготовляють виливки

складних контурів (зовнішніх, внутрішніх), литі вузли зварювально-литих конструкцій.

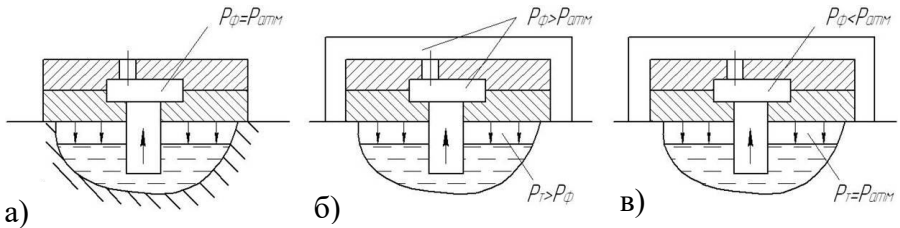


Рисунок 4.13 – Схеми процесів лиття під регульованим тиском:
 а) низьким; б) з протитиском;
 в) з вакуумним усмоктуванням

4.2.3 Лиття відцентрове

Лиття відцентрове – це процес формування виливка обертанням ливарної форми під дією відцентрових сил.

Вісь обертання форми може бути горизонтальною, вертикальною, похилою або такою, що переміщається в просторі.

Відцентрова сила дії на метал за частоти n обертання форми визначається за формулою

$$P = mr\omega^2, \tag{4.1}$$

де m – обертальна маса рідини в даній точці, кг;
 r – радіус обертання, м;
 ω – кутова швидкість, рад/с.

4.3 Форми, що мають конфігурацію тіла обертання

Цим способом виготовляють виливки тіл обертання з чорних і кольорових металів (шестерні, колеса, блоки, маховики, труби та інші).

4.3.1 Лиття в оболонкові форми

Сутність процесу лиття в оболонкові форми: метал вільно заливається в оболонкову разову форму. Матеріали виливків: сталь, чавун, кольорові сплави.

Спосіб застосовується в серійному та масовому виробництвах.

Основні технологічні операції одержання виливків:

- виготовлення оболонок;
- складання (з'єднання) оболонок у форми;
- встановлення форм під заливання металом;
- плавлення металу та заливання форм;
- кристалізація;
- вибивання;
- фінішне оброблення виливків.

Цим способом отримують виливки з будь-яких сплавів. Порівняно з литтям у піщані форми забезпечується: зменшення шорсткості поверхні, поліпшення товарного вигляду, скорочення до 10 разів обсягу перероблення формувальних матеріалів, зниження вдвічі капітальних витрат, зменшення металоємності формувального обладнання. Недоліки: висока вартість смоляного з'єднуваного, шкідливість процесу виготовлення форм, недостатня міцність оболонок.

Процес виготовлення оболонкової форми (рис. 4.14) складається з:

- нагрівання модельного оснащення;
- нанесення на робочу поверхню підмодельної плити розділового покриття та піщано-смоляної суміші;
- формування та затвердіння оболонки разом із підмодельною плитою за температури 300–400 °С;
- знімання готової форми з модельної плити регулюванням.

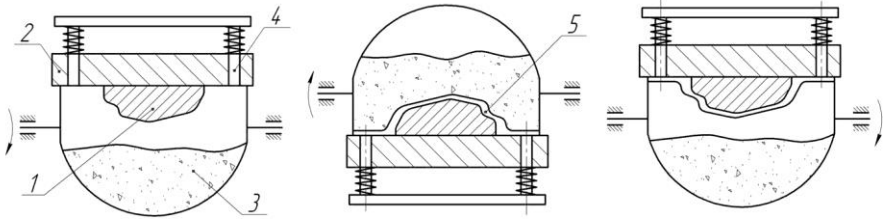


Рисунок 4.14 – Схема виготовлення оболонкової форми:
 1 – модель; 2 – підмодельна плита; 3 – піщано-смоляна суміш;
 4 – виштовхувачі; 5 – оболонкова форма

4.3.2 Лиття за витоплюваними моделями

Сутність процесу лиття за витоплюваними моделями: одержання виливків у багатошарових оболонкових нерознімних разових формах, що виготовляються з використанням витоплюваних, а також випалюваних моделей одноразового використання. Матеріал виливків – будь-які сплави.

Застосовується в серійному та масовому виробництвах, а також дослідному й дрібносерійному.

Сфера застосування – виливки з високолегованих сталей і сплавів (лопатки газотурбінних двигунів, клапани, шестерні, різальний інструмент).

Для виготовлення форми застосовують пресформи рознімні, точність яких вища від моделей. Усередину моделей заливають виплавлені (віск) або випалювальні матеріали (пінополістирол). Помістивши пресформи в автоклав і підігрівши модель до температури плавлення, отримують модель. Як моделі виготовляють багатошарову керамічну оболонку з необхідною міцністю на основі силіки, корунду, магнетиту, а також з'єднаних матеріалів – рідке скло та інші. Під час лиття сплаву на основі титану застосовують графіт, температура плавлення якого 1 713 °С.

Виготовивши багатошарову керамічну оболонку за моделлю, її виплавають гарячою водою, насиченою парою, або випалюють (пінополістирол), потім її прожарюють до температури 850–950 °С. Схему лиття шестерні наведено на рисунку 4.15.

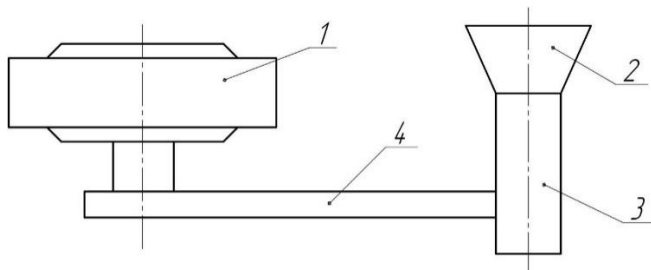


Рисунок 4.15 – Схема лиття шестерні:
 1 – виливок; 2 – верхній додаток; 3 – стояк;
 4 – живильний колектор

Перед заливанням модель із підвідною ливниковою живильною системою поміщують у псевдокиплячий пісок.

Необхідність надання жароміцних властивостей деталей складної форми визначило подальше вдосконалення лиття зі спрямованою кристалізацією. Отримують виливки з 2–4 кристалів, орієнтованих уздовж осі заготовки (пера лопатки ГТУ і ВМД). Стовпчаста структура підвищує жароміцність, пластичність, термостійкість і витривалість лопаток порівняно з рівновісною структурою. Ресурс лопаток збільшується в 1,5–2 рази. Спрямована кристалізація зі швидкістю зростання 25–30 см/год збільшує тривалу міцність жароміцних сплавів за температури 975 °С на 10–15 %, пластичність – в 1,5–2 рази, опір втоми – на 20 %.

До цього виду лиття належать також: лиття за газифікованими (випалюваними) моделями, розчинними, заморозувальними.

4.3.3 Штампування виливків із рідкого металу

Сутність процесу штампування виливків із розплаву полягає в тому, що здійснюються лиття з кристалізацією в матриці під тиском і його витримка до повного затвердіння (ГОСТ 18169-86).

Час витримки металу в пресформі під тиском (до 200 МПа) 1,0–1,2 с на 1 мм товщини стінки.

Спосіб застосовують для виготовлення виливків із чорних і кольорових сплавів у серійному та масовому виробництвах.

Розрізняють поршневе, пуансонне та пуансонно-поршневе пресування з витискуванням розплаву в закриту порожнину на гідравлічних, фрикційних пресах, спецобладнання.

За оцінками експертів технології, розроблені на межі процесів лиття та оброблення тиском, визначають розвиток заготівельного виробництва в ХХІ столітті. Створений спосіб лиття відрізняється тим, що розплав пресформи після його затвердіння з кристалізацією під тиском зазнає механічного пресування. Спосіб досить продуктивний і забезпечує коефіцієнт витрати матеріалу більше ніж 0,9. Енерговитрати знижуються в 3–4 рази порівняно із традиційним литтям під тиском. Ефективна сфера використання – виробництво заготовок складної форми (чавун, вуглецеві сталі, легкі та кольорові сплави).

4.3.4 Електрошлакове лиття

Сутність процесу електрошлакового лиття полягає у тому, що метал заповнюється електрошлаковим перепавом безпосередньо в ливарну форму або ємність, а потім у форму. Це дозволяє виключити контакт розплаву з атмосферою, зберігши його рафінованою. Існує поряд з іншими відцентрове та кокільне електрошлакове лиття, що здійснюється із застосуванням електрошлакового тигельного плавлення (рис. 4.16). Матеріал виливків – леговані сталі. Види заготовок: колінчасті вали вантажних двигунів внутрішнього згорання, штампи, порожнисті злитки та ін.

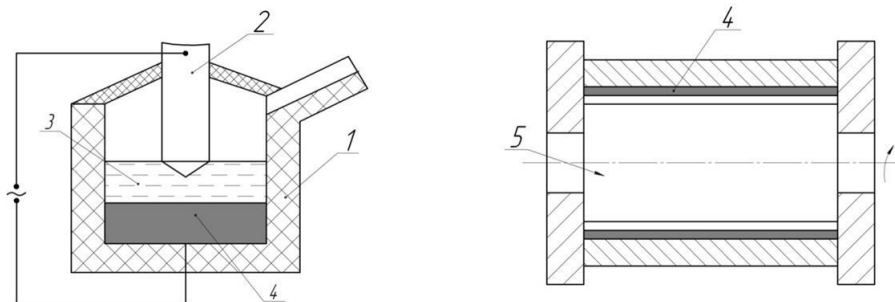


Рисунок 4.16 – Схема електрошлакового тигельного плавлення із заливанням металу в обертову форму: 1 – тигель; 2 – електрод; 3 – шлак; 4 – розплав; 5 – заливання розплаву

Зустрічний рух металу та шлаку підсилює його рафінування, коефіцієнт використання матеріалу для лиття дорівнює 0,7, на відміну від кування – 0,27.

4.4 Порівняльний аналіз спеціальних способів лиття

Кількісно порівняти розглянуті способи лиття можна, базуючись на такі показники:

- ступінь точності згідно з ГОСТом 25347-82;
- клас точності згідно з ДСТУ 8981:2020;
- шорсткість.

Зведені дані за показниками спеціальних способів лиття подані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняльний аналіз спеціальних способів лиття

Спосіб лиття	Ступінь точності (ГОСТ 25347-82)	Клас точності (ДСТУ 8981:2020)	Шорсткість, мкм
Лиття в кокіль	12–15		Ra 8–100
Лиття під тиском	9–12; 10–13	3Т–9; 5Т–13Т	Rz 2,5–40
Лиття в оболонкові форми	11–15	5Т–11	Rz 20–160
Лиття за виплавлюваними моделями	10–14	3Т–9	Rz 10–20
Штампування виливків із розплаву	8–9	2–3Т	Rz 5–20

Контрольні питання

1 Технологічні можливості лиття в піщані форми.
Розроблення технології.

2 Схема виготовлення виливків у піщаних формах.

3 Способи ручного та машинного формування.

4 Устаткування для витягання моделей із форм.

5 Способи вибиття, обрубубання та очищення виливків.

Термічне оброблення виливків.

6 Основні дефекти виливків і методи їх виправлення,
контроль якості виливків.

7 Технологічні можливості та сутність лиття в кокіль.

8 Методи усунення вибілу у виливках.

9 Сутність і технологічні можливості лиття під тиском.

10 Способи лиття під тиском.

11 Призначення й сутність відцентрового лиття.

12 Технологічні можливості відцентрового лиття.

13 Сутність процесу лиття в оболонкові форми.

14 Послідовність приготування оболонкової форми.

15 Технологічні можливості лиття в оболонкові форми.

16 Особливість процесу лиття, сфера застосування лиття
за виплавлюваними моделями.

17 Послідовність отримання форми.

18 Сутність способу штампування виливків із рідкого
металу. Технологічні можливості.

19 Особливість і переваги способу електрошлакового
тигельного плавлення.

РОЗДІЛ 5

СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ, ЇХ ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

5.1 Особливості ковальсько-штампувального виробництва

Ковальсько-штампувальне виробництво (КШВ) призначене для виготовлення заготовок і деталей машинобудівного виробництва. Виготовлення виробів у КШВ здійснюється переважно пластичною деформацією. Це приводить до зменшення відходів під час оброблення різанням, поліпшення механічних властивостей матеріалу заготовок із чорних і кольорових металів та їхніх сплавів.

Устаткування для деформування вихідних заготовок продуктивніше, ніж у ливарному виробництві.

Тип КШВ залежить від програми виготовлення поковок на 1 рік, маси та кількості типів заготовок, закріплених за обладнанням (табл. 5.1).

5.2 Класифікація технологічних процесів і виробів ковальсько-штампувального виробництва, застосовне обладнання

Основні технологічні процеси КШВ: кування, штампування, спеціальні способи. Вироби, виготовлені куванням або об'ємним штампуванням, називають відповідно кованими або штапованими, а вироби листового штампування – деталями, оскільки вони віддаються у складальні цехи без оброблення різанням. У процесах КШВ пластична деформація може бути холодною, гарячою та проміжною, неповною холодною або неповною гарячою. Отримують вироби зі зміцнювальними або знеміцнювальними ефектами.

Таблиця 5.1 – Ознаки типів ковальсько-штампувального виробництва

Параметр		Виробництво		
		одиничне, дрібносерійне	серійне	великосерійне, масове
Річний випуск поковок, шт./рік	Дрібні (до 1 кг)	Менше ніж 50 тис.	50–500	Понад 500 тис.
	Середні (1–10 кг)	Менше ніж 10 тис.	10–100	Понад 100 тис.
	Важкі (10–150 кг)	Менше ніж 2 тис.	2–10 тис.	Понад 10 тис.
Кількість типів заготовок, закріплених за обладнанням, шт.		13 та більше	6–12	1–5

Холодна пластична деформація супроводжується явищем повернення (з повним зміцненням). Рекристалізація відсутня. Температура деформації $T < 0,3T_{пл}$, де $T_{пл}$ – абсолютна температура плавлення деформованого металу. Забезпечуються високі міцнісні властивості виробу.

За неповної холодної пластичної деформації рекристалізація (процес росту одних кристалічних зерен полікристала за рахунок інших) відсутня. У металі з'являється смужкувата структура або текстура. Деформація здійснюється в інтервалі температур $T = (0,3-0,5) \cdot T_{пл}$.

За гарячої пластичної деформації (із повним знеміцненням) рекристалізація відбувається повністю. Температура гарячої пластичної деформації – $T = 0,7 \cdot T_{пл}$.

Неповну гарячу пластичну деформацію (неповне зміцнення) за температури $T = (0,5-0,7) \cdot T_{пл}$ застосовують рідко, оскільки отримують знеміцнення металу.

Описані види пластичної деформації справедливі для кування на традиційному ковальсько-штампувальному обладнанні (рис. 5.1).

5.3 Вихідні заготовки в ковальсько-штампувальному виробництві та способи їх оброблення

Вихідними заготовками для виготовлення поковок на молотах та пресах й іншого виду устаткування є: злитки, цвітіння (сталеві заготовки квадратного перерізу, прокатана на блюмінгу або отримана з рідкого металу безперервним литтям), заготовки, отримані відцентровим литтям і зварені, товарні заготовки, сортові й фасонні профілі загального, галузевого і спеціального призначення, трубний прокат, гнуті, гарячепресовані періодичні профілі.

Кольоровий метал надходить у ковальські цехи у вигляді злитків або катаних прутків.

Під час виготовлення деталей пластичної деформації зазнають трохи більше половини сортового прокату. В інших випадках деталі отримують обробленням різанням.

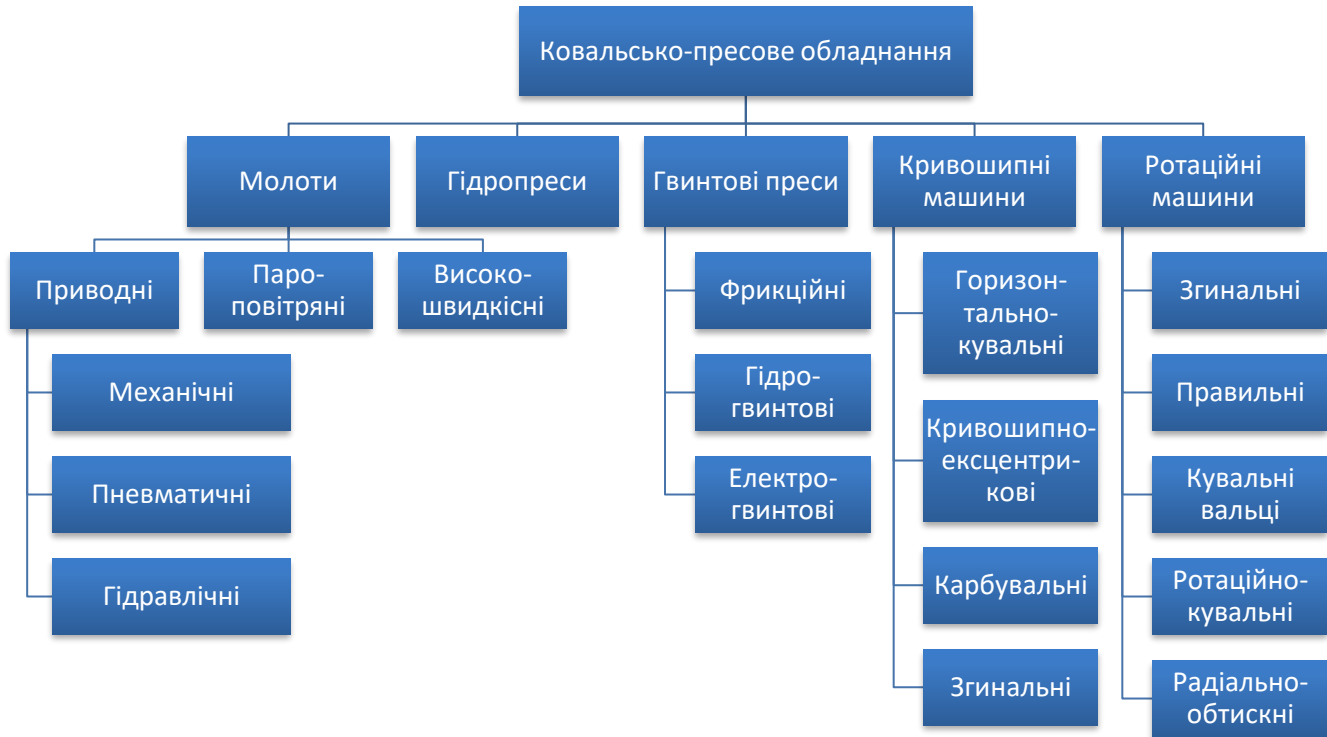


Рисунок 5.1 – Класифікація ковальсько-пресових машин

Під час виготовлення деталей пластичної деформації зазнають трохи більше половини сортового прокату. В інших випадках деталі отримують обробленням різанням.

Способи оброблення вихідних заготовок поділяють на дві групи (рис. 5.2) – без відходів і з відходами.

Без відходів	З відходами
<ul style="list-style-type: none">• Пластичне деформування:<ul style="list-style-type: none">• відрубання;• обкат клиновим інструментом.• Руйнування:<ul style="list-style-type: none">• обкат клиновим інструментом;• холодне ламання;• різання (у штампах на ножицях; крученням).• Пластичний зсув:<ul style="list-style-type: none">• різання (у штампах на ножицях; крученням)	<ul style="list-style-type: none">• Різання:<ul style="list-style-type: none">• різання зубчастими пилами (дисковими, стрічковими, ножівковими);• розрізування різцями;• різання абразивними кругами.• Плавлення, випаровування, спалювання металу:<ul style="list-style-type: none">• різання фрикційними пилами;• різання електромеханічними пилами;• різання електроерозійне;• різання анодно-механічне;• різання газополум'яне;• різання повітряно-дугове;• різання полум'яно-дугове;• різання лазерне

Рисунок 5.2 – Способи оброблення вихідних заготовок

Найбільш грубий спосіб оброблення – газове різання. Точність ручного різання $\pm 4-10$ мм, машинного – $\pm 1-2$ мм. Максимальна товщина листового прокату під час різання – до

200 мм, із зовнішнім діаметром – до 200 мм. Найбільш точний показник різання на абразивно-відрізних, анодно-механічних верстатах – $\pm 0,15-0,3$ мм, на лазерних – $\pm 0,001-0,05$ мм. Для різання високоміцних і твердих матеріалів використовують електромеханічне та електроіскрове різання. Точність і якість поверхні під час оброблення іншими способами наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Точність і якість поверхні під час оброблення різними способами

Спосіб відрубання	Квалітет	Rz + h, мкм
На ножицях	17	300
Приводними ножівками, дисковими фрезами на верстатах	14	200
Відрізними різцями на токарних верстатах	13	200
Відрубання на пресах	17	Rz 150–300 h 1000–1600

Примітка. h – глибина дефектного шару

5.4 Характеристики точності та металомісткості в ковальсько-штампувальному виробництві

Клас точності кування встановлюється залежно від технологічного процесу та устаткування. Допускаються різні класи точності для різних розмірів одного й того самого кування. Клас точності визначається за переважною кількістю розмірів одного класу точності креслення кування та в технічних вимогах.

Характеристиками точності та металомісткості у КШВ є:

- коефіцієнт використання металу (КВМ);
- коефіцієнт виходу придатного (КВП);
- коефіцієнт масової точності (КМТ).

Із трьох коефіцієнтів для оцінювання точності поковок та металомісткості в КШВ використовується КВМ. Для його підвищення потрібна спільна робота технологів з оброблення металів тиском, термооброблення та оброблення різанням.

Установлено, що для цехів масового та великосерійного виробництва величини зазначених коефіцієнтів залежать від маси поковок. Зі збільшенням маси кування числові значення зростають. Наприклад, для поковок від 1 кг і понад 40 кг: КВМ = 0,45–0,62; КВП = 0,75–0,89; КМТ = 0,6–0,7.

Відходи: відсоток від загальних витрат металу на розкрій – 2,5–3,1; вигар за індукційного нагрівання – 1–0,9; облой – 21,5–8,5; стружка – 30–25,5. КВП у КШВ зростає зі збільшенням маси штампованих деталей у дрібно- та середньосерійному виробництвах.

Контрольні питання

- 1 Назвіть ознаки типів ковальсько-штампувального виробництва.
- 2 Перелічіть основні параметри, що характеризують КШВ.
- 3 Охарактеризуйте види деформації металу в КШВ.
- 4 Дайте розгорнуту класифікацію обладнання в КШВ.
- 5 Які є типи вихідних заготовок у КШВ?
- 6 Назвіть способи оброблення вихідних заготовок у КШВ.
- 7 Охарактеризуйте якість заготовок під час оброблення різними способами.
- 8 Назвіть характеристики точності і металомісткості в КШВ.

РОЗДІЛ 6 ОБ'ЄМНЕ ГАРЯЧЕ ШТАМПУВАННЯ

6.1 Сутність процесу, застосовуване обладнання, інструмент, показники якості заготовок

Сутність процесу гарячого об'ємного штампування (ГОШ) полягає в тому, що заготовці надають необхідної форми, заповнюючи металом порожнину штампа, в результаті цього його течія відбувається в осях X, Y, Z на відміну від кування.

Порожнину штампа, що заповнюється металом під час штампування, називають канавкою.

Канавки поділяють на:

- заготівельні;
- штампувальні;
- відрубні (ножі).

Штампкування заготовок виконують на молотах і пресах, горизонтально-кувальних машинах і на спеціальному устаткуванні.

Інструментом для штампування заготовок є штампи, які класифікують на:

- відкриті;
- закриті;
- для видавлювання;
- для висадки;
- інші.

Штампкування у відкритих штампах застосовують для заготовок будь-якої конфігурації, закритих – лише для тіл обертання. Комбінована схема штампів для відкритого й закритого штампування наведена на рисунку 6.1.

Кування без підкладних штампів застосовують для одержання заготовок простої форми масою до 250 т. Підкладні штампи дозволяють отримати заготовку дещо складної форми.

Під час штампування у відкритих штампах надлишок металу на заготовку витісняється в облойну канавку, утворюючи облой, у закритих штампах – у щілину, утворюючи задирку. Облой гальмує переміщення металу з порожнини штампа,

забезпечуючи її заповнення кутів. Основна маса поковок виготовляється у відкритих штампах, незважаючи на те, що КВМ вище у закритих штампах.

Якість поверхні заготовок характеризують параметром шорсткості R_z (R_a) та глибиною дефектного шару h (табл. 6.1).

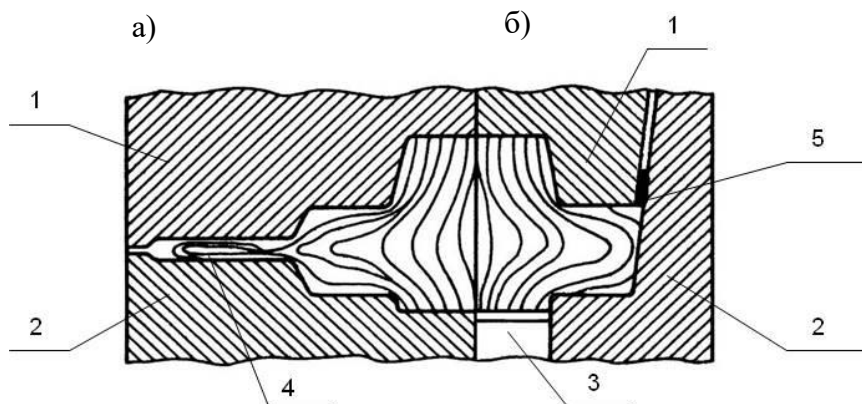


Рисунок 6.1 – Комбінована схема штампів для відкритого (а) й закритого (б) штампування:

1 – верхня матриця штампа; 2 – нижня матриця штампа;
3 – виштовхувач; 4 – облой; 5 – задирка

Таблиця 6.1 – Якість поверхні заготовок, отриманих гарячим об’ємним штампуванням

Маса штампованої поковки, кг	R_z , мкм	h , мкм
До 0,25	60	150
0,25–4,0	100	200
4,0–25	240	250
25–40	320	300
40–100	350	350
100–200	400	400

Основні показники якості заготовок, отриманих способами гарячого об’ємного штампування, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Показники якості заготовок

Спосіб гарячого об'ємного штампування	Допуск на основний розмір, мм, або квалітет, IT	Шорсткість Rz або Ra, мкм
На молотах, пресах	0,7–11,0	Rz 20–160
Із подальшим калібруванням	IT8–IT12	Ra 0,03–2,5
Із висаджуванням на горизонтально-кувальних машинах	0,7–3,4	Rz 20–160
Видавлюванням	0,2–0,5	Rz 20–80
На карбувальних пресах	IT8–IT14	Rz 20–80

КВП для дрібно- та середньосерійного виробництва 0,5–0,85, великосерійного – 0,65–0,92.

КВМ для цехів масового та великосерійного виробництв залежать від маси та перебувають у діапазоні 0,45–0,62; КВП – 0,75–0,89; КМТ – 0,6–0,7 за індукційного нагрівання заготовок.

6.2 Правила вибору площини рознімання матриць штампа

Рознімання в штампі необхідне для розміщення вихідної заготовки у канавку, а також безперешкодного вилучення заготовки.

Вимоги, що визначають положення площини рознімання штампа:

- поковка повинна вільно вилучатися зі штампа;
- площина рознімання повинна збігатися з площиною найбільших габаритних розмірів кування;
- повинна забезпечуватися мінімальна кількість переходів;
- перевагу необхідно віддавати прямій площині рознімання та забезпечувати зручний контроль переміщення матриць штампа.

Можливі три варіанти рознімання (рис. 6.2). Залежно від співвідношення висоти H_0 і діаметра D_0 вибирають варіанти рознімання 1–3-го штампів.

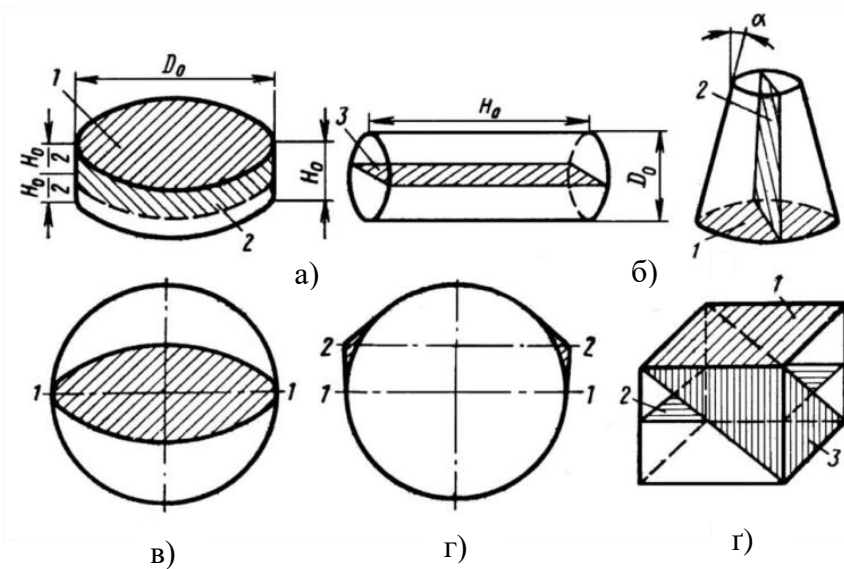


Рисунок 6.2 – Можливі положення площин рознімання штампів для простих геометричних фігур

Циліндр. Для циліндра (рис. 6.2 а) великої довжини доцільніше застосовувати варіант 3, за якого заготовку штампують уздовж осі, оскільки напуски від штампувальних уклонів у цьому випадку будуть лише в торцях; для циліндрів невеликої довжини, які штампують у торець, раціональним є варіант 2.

Зрізаний конус. Для зрізаного конуса можливі два варіанти рознімання (рис. 6.2 б). Варіант 1 використовують у разі, якщо величина кута конуса α достатня для вилучення поковки з канавки без використання значних зусиль. Поковки великої довжини зазвичай штампують за варіантом 2 із напусками від штампувальних уклонів лише на торцях.

Сфера. Для сфери (рис. 6.2 в, г) оптимальна площина рознімання – варіант 1.

Куб. Для куба (рис. 6.2 г) оптимальним є варіант 3.

Реальні можливі площини можна розглядати як складні геометричні фігури, що складаються з елементарних фігур. Якщо площину рознімання штампів вибирають за максимальними розмірами кування, то порожнини штампів виходять не глибокими, полегшується їх заповнення, але збільшуються периметр і обсяг задирки, а також площа дзеркала штампа, зайнята канавками.

Розглянемо приклади. Потрібно виготовити деталь типу шківа, втулки, шестірні тощо (рис. 6.3 а).

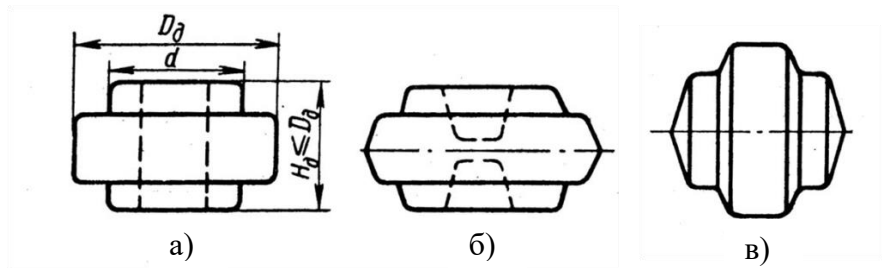


Рисунок 6.3 – Можливі положення площини рознімання відкритих штампів для кування деталей типу тіл обертання

Вибираючи різні площини рознімання штампів, отримуємо поковки різної форми (рис. 6.3 б, в). За положення рознімання, показаному на рисунку 6.3 б, застосовують торцеве штампування. Рознімання на рисунку 6.3 в називають поперечним штампуванням. Розміщення та величина напусків залежать від співвідношення розмірів елементів поковки. Під час торцевого штампування за співвідношенні розмірів $H_d \leq D_d$ (рис. 6.3 б) вдається зробити намітки отворів, збільшується КВМ, знижується трудомісткість механічного оброблення.

Під час штампування шестірні, незалежно від співвідношень, доцільним є торцеве штампування. Макроструктура виходить однаковою в усіх зубів, забезпечуючи їх високу міцність.

6.3 Проктування порожнин у поковках

За наявності в деталі отворів у заготовці передбачають порожнину з одного або двох боків. Різновиди порожнин у заготовках наведені на рисунку 6.4.

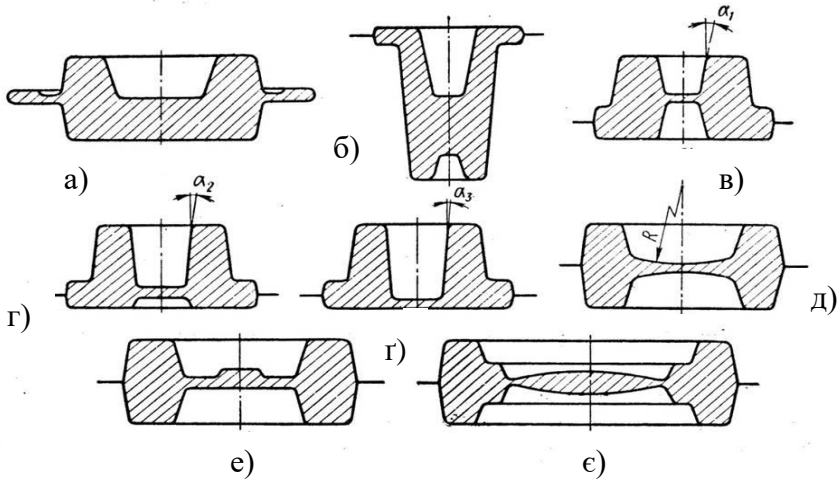


Рисунок 6.4 – Типи поковок із порожнинами:

- а) одностороннє розміщення порожнини; б) двостороннє розміщення глухих порожнин для штамповок великої висоти;
- в) рівностороннє розміщення порожнини з двох боків заготовки;
- г) близькі до збігу вершин порожнин до площини рознімання;
- г) допустимий варіант розміщення порожнини;
- д) порожнина з тонкою перемичкою; е) попередньо порожнини отримують у чорновій, а остаточно – в чистовій канавці з обробленням кишені та стоншеними стінками перемички;
- е) порожнина за великого діаметра кування, але невеликої маси

Ковальські напуски утворюються штампувальними ухилами, радіусами заокруглень, перемичкою в отворах.

Штампувальні уклони $1-10^\circ$ виключають застрявання поковок на канавках.

6.4 Визначення маси та розмірів заготовки для штампування

Згідно з ГОСТом 7505-89 попередньо обчислюємо розрахункову масу штампування номінального розміру деталі за формулою

$$m_{ш} = m_{д}k_{р}, \quad (6.1)$$

де $m_{д}$ – маса деталі;

$k_{р}$ – коефіцієнт, що залежить від конфігурації деталі ($k_{р}= 1,3-2,2$).

Визначаємо ступінь складності штампування за формулою

$$C = \frac{m_{ш}}{m_{ф}}, \quad (6.2)$$

де $m_{ф}$ – маса (об'єм) геометричної фігури, в яку вписується форма кування (рис. 6.5).

Установлені ступені складності: С1, С2, С3, С4 і відповідні їм числові значення відношення $m_{ш}/m_{ф}$:

- С1: більше ніж 0,63;
- С2: 0,32–0,63;
- С3: 0,16–0,32;
- С4: до 0,16.

Визначаємо групу сталі (М1, М2, М3) залежності від їх хімічного складу (табл. 6.3) і класу точності штампування (Т1, Т2, Т3, Т4, Т5).

Припуски та відхилення, які беруть для штамповок, визначаємо за вихідним індексом (табл. 6.3) і розмірами штамповок.

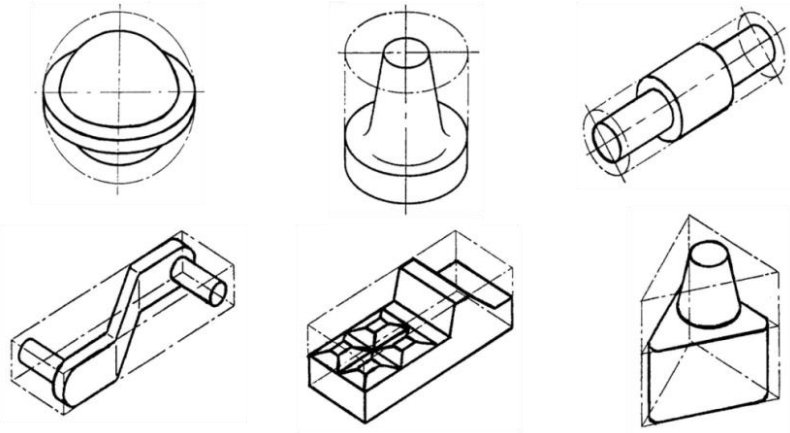


Рисунок 6.5 – Геометричні фігури, в які може вписуватися поковка

Таблиця 6.3 – Класи точності поковок

Обладнання, технологічний процес		Клас точності				
		T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипні гаряче- штампувальні преси	відкрите штампування				+	+
	закрите штампування		+	+		
	видавлювання			+	+	
Горизонтально-кувальні машини					+	+
Преси гвинтові, гідравлічні					+	+
Гарячештампувальні автомати			+	+		
Штампувальні молоти					+	+
Калібрування об'ємне		+	+			
Прецизійне штампування		+				

Масу металу заготовки, необхідної для отримання штампованого кування на молоті або пресі, розраховуємо за формулою

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{пок}} + G_{\text{обл}} + G_{\text{уг}}, \quad (6.3)$$

де $G_{\text{пок}}$ – маса поковки;

$G_{обл}$ – маса відходів (враховується лише під час штампування у відкритому штампі);

$G_{уг}$ – маса відходження металу на вигорання.

Масу облою можна орієнтовно розрахувати за формулою

$$G_{обл} = (0,5 - 0,8) \cdot \rho \cdot F_{обл} \cdot L, \quad (6.4)$$

де ρ – густина металу;

$F_{обл}$ – площа поперечного перерізу канавки для облою;

L – периметр кування по лінії рознімання.

Орієнтовні площі поперечного перерізу канавки для облою $F_{обл}$ залежно від маси кування наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Орієнтовні площі поперечного перерізу канавки для облою

$G_{пок},$ кг	Менше ніж 0,5	0,5–1,5	1,5–5	5–12	12–25	25–40	40–100	Понад 100
$F_{обл},$ см ²	1,1	1,6	2,4	3,2	4,2	5,3	11,2	19,5

Масу відходів металу на угар під час нагрівання в полум'яній печі беруть такою, що дорівнює 1,5–3 % від маси поковки з облоєм і кліщовиною, а під час електронагрівання – 0,5–1 %.

Площу поперечного перерізу заготовки для штампування поперечно до осі визначаємо за формулою

$$F_{заг} = \frac{KV_{заг}}{L_{пок}}, \quad (6.5)$$

де K – коефіцієнт, що враховує переміщення металу заготовкою уздовж її осі;

$V_{заг}$ – об'єм заготовки без рицини;

$L_{пок}$ – довжина кування без рицини.

Значення коефіцієнта:

- 1,02–1,05 – за відсутності заготівельних канавок;
- 1,3 – за перетискної канавки;
- 1,05 – за формувальної канавки;
- 1,05–1,2 – за підкатної канавки;
- 1,05–1,1 – за згинальної канавки ($L_{\text{пок}}$ у цьому разі береться за середню лінію розгортки).

Якщо застосовується одна протяжна канавка без інших заготівельних канавок (за винятком згинального або формувального), площу поперечного перерізу заготовки беруть такою, що дорівнює максимальній площі поперечного перерізу поковки з облоєм.

Довжину заготовки визначаємо за формулою

$$L_{\text{заг}} = \frac{V_{\text{заг}}}{F_{\text{заг}}}. \quad (6.6)$$

Під час штампування з кліщовиною до довжини заготовки додають довжину кліщового кінця. Довжина кліщовини повинна бути не меншою ніж 25 мм і становити 0,6–1 діаметра або сторони квадрата заготовки.

Під час виготовлення поковок осадженням у торець відношення T довжини заготовки $L_{\text{заг}}$ до її діаметра $d_{\text{заг}}$ (або сторони A квадратної заготовки) повинна становити 1,25–2,8 (найчастіше беруть $T = 2$).

Задаючись значенням коефіцієнта T , знаходимо:

1) діаметр заготовки:

$$d_{\text{заг}} = 1,08 \sqrt[3]{\frac{V_{\text{заг}}}{m}}; \quad (6.7)$$

2) довжину заготовки:

$$L_{\text{заг}} = 4 \frac{V_{\text{заг}}}{\pi d_{\text{заг}}^2}; \quad (6.8)$$

3) сторону квадратної заготовки:

$$A = \sqrt[3]{\frac{V_{заг}}{m}}, \quad (6.9)$$

4) довжину квадратної заготовки:

$$L_{заг} = \frac{V_{заг}}{A^2}. \quad (6.10)$$

Контрольні питання

- 1 Назвіть сутність процесу ГОШ.
- 2 Яке обладнання та інструмент застосовують для ГОШ?
- 3 Охарактеризуйте показники якості заготовок ГОШ.
- 4 Які правила застосовують для вибору рознімання матриць штампа?
- 5 Назвіть призначення порожнин у поковках.
- 6 За якою формулою визначається маса металу заготовки для штампування?
- 7 Які формули використовують для розрахунків розмірів заготовки для штампування?

РОЗДІЛ 7 ШТАМПУВАННЯ ЗАГОТОВОК НА МОЛОТАХ І ПРЕСАХ

7.1 Обладнання та інструмент, застосовувані під час штампування на молотах

Молоти є універсальним обладнанням для гарячого об'ємного штампування переважно у відкритих штампах. Їх ККД становить близько 3 %.

Основні типи молотів:

- пароповітряний;
- механічний;
- гідравлічний;
- високошвидкісний;
- інші.

У пароповітряних молотах енергоносієм є пара або повітря для переміщення баби молота.

Механічні молоти. Робоче переміщення баби молота здійснюється під дією сили ваги на відміну від гідравлічних, де енергоносієм є рідина високого тиску (до 18 МПа).

Високошвидкісні молоти застосовують для штампування поковок із важкодеформованих матеріалів (титанові сплави), а також із кольорових і чорних металів та сплавів. Швидкість деформування заготовки перевищує 7 м/с. Як енергоносієм використовується газ високого тиску, процес деформування відбувається за частки секунди. Цей спосіб штампування порівняно з описаними вище на 30–40 % знижує витрати металу і в 2–3 рази підвищує КВМ. Точність поковок підвищується. Для виготовлення поковок використовують штампи, що складаються з двох матриць.

Верхню матрицю штампа (рис. 7.1) кріплять до баби молота, нижню – до штампотримача, який закріплюється на шаботі.

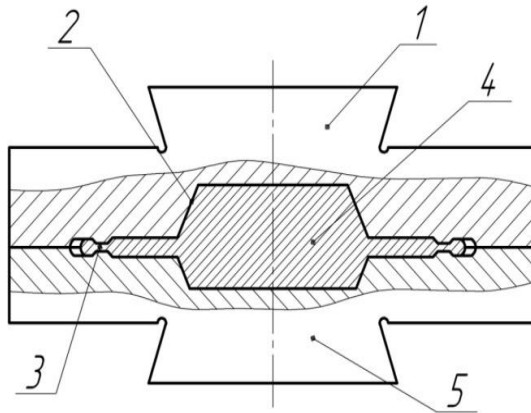


Рисунок 7.1 – Схема молотового відкритого штампа:
 1 – верхня матриця; 2 – стінка канавки (порожнини);
 3 – облой; 4 – поковка; 5 – нижня матриця

Вибір молота здійснюють, визначивши масу падаючих частин для штампування в закритих штампах за формулою

$$G_{п.ч} = (3,5 - 5) \cdot F_{п}, \quad (7.1)$$

де $F_{п}$ – площа проєкції поковки в плані, см².

7.2 Класифікація поковок, отриманих на молотах, та канавок під час штампування

Кування класифікують за низкою ознак, наприклад, за способом штампування: пліском або осадженням у торець тощо.

Їх поділяють на групи I і II, у кожній із яких є дві підгрупи (геометрична характеристика кування й технологічні особливості під час штампування щодо канавок). Типові представники групи I – шатуни, колінчасті вали й інші, II групи – стакани, хрестовини, шестірні та ін.

Типи канавок: заготівельні, штампувальні.

7.3 Визначення розмірів вихідної заготовки, кількості переходів під час штампування на молотах

Розміри вихідної заготовки визначають, зважаючи на розрахункову заготовку та прийняту комбінацію переходів штампування.

Розрахункова заготовка – умовна заготовка з круглими поперечними перерізами, площі яких дорівнюють сумарній площі відповідних перерізів кування та відходів.

Площу поперечного перерізу розрахункової заготовки (S_e) в довільному місці визначаємо за формулою

$$S_e = S_n + 2S_o = S_n + 2\xi S_{об.к}, \quad (7.2)$$

де S_n – площа поперечного перерізу кування в довільному місці, розрахована за номінальними розмірами з додаванням до вертикальних розмірів половини додатного відхилення;

S_o – площа перерізу відходів;

$S_{об.к}$ – площа перерізу облойної канавки;

ξ – коефіцієнт заповнення канавки.

Для побудови креслення розрахункової заготовки розраховуємо низку значень для характерних поперечних перерізів кування та відкладаємо одержані діаметри по лініях площин цих перерізів, а потім з'єднуємо характерні точки прямими та плавними кривими лініями (рис. 7.2).

Зображення розрахункової заготовки рекомендують виконувати в масштабі 1:1. Якщо за ординатою відкласти в масштабі M величини площ характерних перерізів S_e у вигляді відрізків, що дорівнюють $h_e = \frac{S_e}{M}$, то, з'єднавши кінці цих відрізків, отримаємо епюру поперечних перерізів розрахункової заготовки.

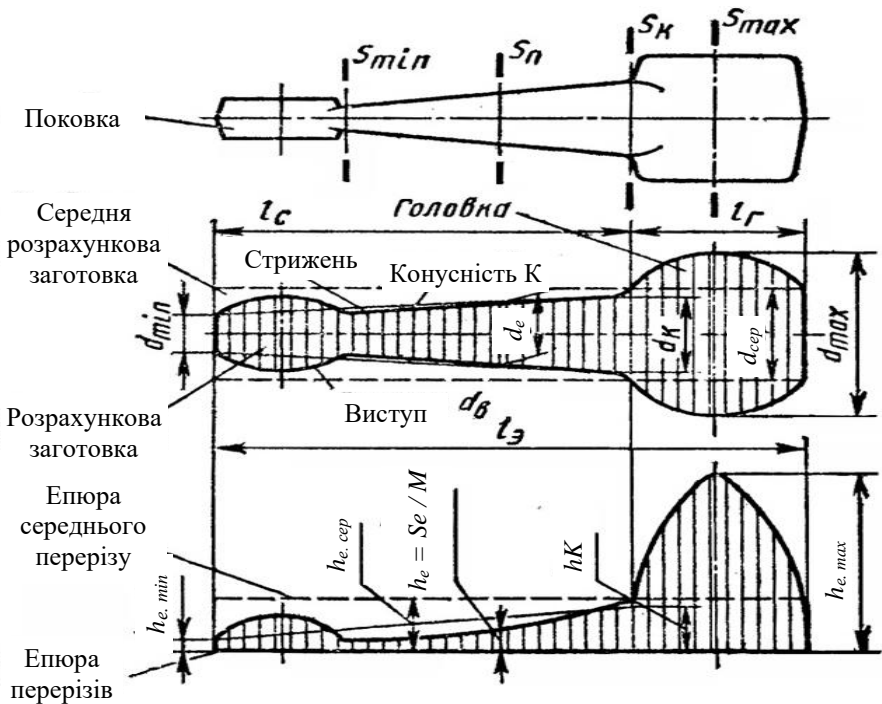


Рисунок 7.2 – Елементарна розрахункова заготовка та еюра перерізів

Діаметр розрахункової заготовки d_e у довільному перерізі визначаємо за формулою

$$d_e = \sqrt{\frac{4S_e}{\pi}}. \quad (7.3)$$

Середньою розрахунковою заготовкою називають циліндр діаметром d_{sep} , довжиною, що дорівнює довжині кування ($l_e = l_n$), і об'ємом $V_{n.o}$, що дорівнює сумі об'ємів поковки V_n і об'єму V_o , який розраховуємо за формулою

$$V_{n.o} = V_n + V_o. \quad (7.4)$$

Площу перерізу середньої розрахункової заготовки визначаємо за формулою

$$S_{сер} = \frac{V_{п.о}}{l_{п}}. \quad (7.5)$$

Діаметр середньої розрахункової заготовки визначаємо за формулою

$$d_{сер} = \sqrt{\frac{4S_{сер}}{\pi}}. \quad (7.6)$$

Частину розрахункової заготовки, в межах якої $d_e > d_{e.сер}$ (і відповідна частина епюри перерізів), називають головкою. Частину розрахункової заготовки, в межах якої $d_e < d_{e.сер}$ (і відповідна частина епюри перерізів), називають стрижнем.

Конусність стрижня визначаємо за формулою

$$K = \frac{d_{к} - d_{min}}{l_{с}}, \quad (7.7)$$

де $d_{к}$ – діаметр переходу стрижня в головку;
 $l_{с}$ – довжина стрижня.

Розрахункову заготовку з однією головкою та односторонньо розміщеним стрижнем називають елементарною розрахунковою заготовкою. Їй буде відповідати елементарна епюра перерізів. Складна розрахункова заготовка складається з однієї головки та двостороннього стрижня або двох і більше головок. Складну розрахункову заготовку та відповідно складну епюру перерізів можна подати у вигляді низки елементарних.

Об'єм заготовки на одну поковку $V_{заг}$ розраховуємо за формулою

$$V_{заг} = S_{заг} \cdot l_{заг}, \quad (7.8)$$

де $S_{заг}$ – площа перерізу;

$l_{заг}$ – довжина заготовки.

Об'єм заготовки з урахуванням втрат (без ризици) визначаємо за формулою

$$V_{заг} = V_{н.о} \cdot (100 + \delta) / 100, \quad (7.9)$$

де δ – угар металу, % .

Потім за стандартом підбираємо квадратний або круглий профіль із найближчою більшою площею поперечного перерізу. Розраховуємо діаметр $D_{заг}$ або сторону квадрата $A_{заг}$ вихідної заготовки.

Для того щоб визначити, які заготівельні канавки використовувати під час штампування, необхідно з'ясувати, до якої групи, підгрупи та типу належить поковка, що штампується. Потім будемо епюру перерізів розрахункової заготовки та визначаємо коефіцієнт підкочування.

Загальний коефіцієнт підкочування визначаємо за формулою

$$K_{п} = \frac{S_{max}}{S_{сеп}} = \frac{d_{max}^2}{d_{сеп}^2}, \quad (7.10)$$

де S_{max} – найбільша площа перерізу;

d_{max} – діаметр розрахункової заготовки.

У таблиці 7.1 наведені значення коефіцієнта підкочування канавок $K_{п}$.

На підставі рекомендацій для вибору послідовності канавок під час штампування визначаємо комбінацію переходів і канавок так, щоб $K_{п} \leq K_{пр}$ ($K_{пр}$ дорівнює добутку $K_{п}$ вибраних канавок). Наприклад, якщо вибрано канавки: підкочувальну закриту, чорнову і чистову (значення $K_{п}$ див. в табл. 7.1), то $K_{пр} = 1,6 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \approx 1,8$.

Таблиця 7.1 – Коефіцієнт підкочування

Канавка	Коефіцієнт підкочування $K_{п}$
Майданчик для розплющування	1
Нережимний	1,2
Формувальний	1,2
Підкочувальний відкритий	1,3
Підкочувальний закритий	1,6
Гнучкий	1,2
Чорновий	1,1
Чистовий	1,05

7.4 Рекомендації з розроблення креслень

Вихідними даними є креслення деталі та тип виробництва.

Згідно з ГОСТом 7505-89, визначивши положення площини рознімання, призначають припуски, допуски, штампувальні уклони, радіуси заокруглень, порожнини (за необхідності).

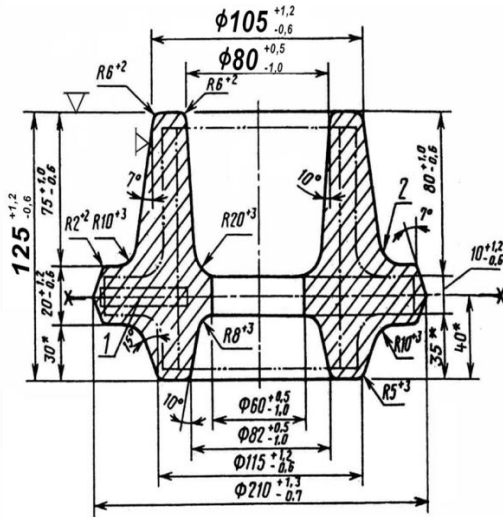
Креслення поковки рекомендується виконувати в масштабах 1:1, 2:1 залежно від розмірів заготовки (не більше ніж 750 мм).

Контури деталі на кресленні поковки зображують суцільною тонкою лінією. Поверхню рознімання штампа зображують тонкою штрихпунктирною лінією. Її позначають на кінцях знаком Х.

Рекомендується уникати проставлення розмірів від лінії рознімання, якщо вона не збігається з осью. На кресленні поковки зазначаємо схему базування на першій операції та оброблювану поверхню. Розмірні лінії для нанесення розмірів поверхонь з уклонами проводимо від їх вершин. Розміри поковки проставляємо з урахуванням: зручної перевірки шаблонами розмірів і форми поковки; простоти розмітки поковки під час контролю; зручної перевірки припуску на кресленні. У рамці креслення після назви деталі під рискою в

дужках зазначаємо вид заготовки, тобто поковку. Приклад графічного виконання кування втулки зі сталі 65 наведено на рисунку 7.3.

$\sqrt{Rz\ 20}$



Технічні умови:

1 НВ 229.

2 Зсув штампів не більше ніж 0,2 мм.

3 Клас точності – Т5,
група сталі – М3,
ступінь складності – С3,
вихідний індекс – 13.
ГОСТ 7505-89.

4 Місце відбору зразка
для випробування – 1;
місце маркування – 2

Рисунок 7.3 – Поковка втулки

7.5 Сутність процесу кування, застосоване обладнання

Сутність процесу полягає у формоутворенні вихідної заготовки вздовж однієї (вертикальної) або двох осей (вертикальної та горизонтальної). Коефіцієнт масової точності у діапазоні 0,3–0,4.

Застосоване обладнання – молоти й преси.

Інструменти:

- бойки, плити для осадження, прошивки, кільця, розкочування, тискачі, обтискачі, сокири, накладні штампи (основний);
- кліщі, стійки, патрони (підтримувальний);
- кронциркулі, косинці, нутроміри, лінійки, калібри, шаблони (вимірвальні).

Кування без підкладних штампів застосовують для одержання заготовок простої форми масою до 250 т. Підкладні штампи дозволяють отримати заготовку дещо складної форми (див. рис. 7.4).

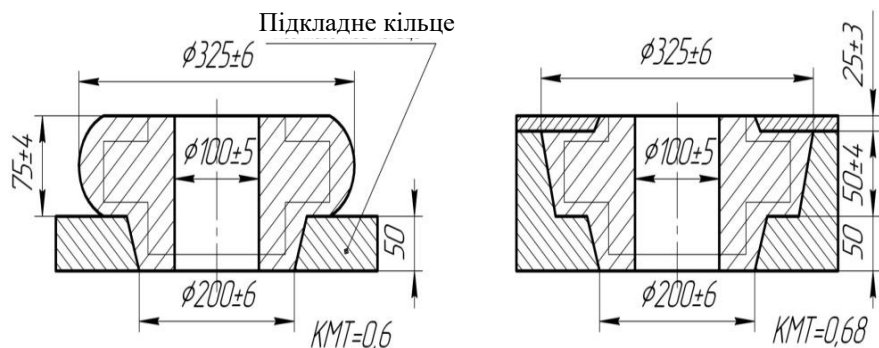


Рисунок 7.4 – Поковки, одержувані без і в підкладних штампах

Фасонні поковки понад 100 кг та прості масою понад 750 кг переважно виготовляються на гідропресах. Основні показники якості поковок та типи виробництв наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Основні показники якості поковок та типи виробництв

Спосіб кування	Розмір, маса	Допуск основного розміру, мм	Шорсткість Rz, мкм	Тип виробництва
На молотах і пресах	Менше ніж 250 т	3,0–30,0	80–320	Одиничне, дрібно-серійне
На молотах у підкладних кільцях і штампах	Більше ніж 10 кг	1,0–2,5	40–80	Дрібно-серійне
На радіально-кувальних машинах: – холодне; – гаряче	Ø150 мм (пруток, труба)	0,04–0,4 0,1–0,6	До 40	Серійне

Переваги кування:

- можливість виготовлення великогабаритних деталей;
- застосування універсального обладнання, оснащення;
- підвищення пластичності та ударної в'язкості металу.

Недоліки кування:

- малий ККД (для молотів пароповітряних – 2–3 %, молотів пневматичних – 6–7 %; гідравлічних пресів – 6–8 %);
- низька продуктивність і велика трудомісткість;
- великий обсяг механічного оброблення.

Завдяки отриманню високої пластичності матеріалу, міцності, кування рекомендується для заготовок високонавантажених деталей: роторів гідротурбін, валів, дисків турбін, коліс тощо. Виготовляють також заготовки із титанових сплавів на пресах із зусиллям до 3 000 т.

Для вибору молота визначаємо масу падаючих частин молота, необхідну для осадження, за формулою

$$G = 0,17 \left(1 + 0,17 \frac{D_{нок}}{H_{нок}} \right) \sigma_T \varepsilon_K V_{заг}, \quad (7.11)$$

де $D_{нок}$ – діаметр заготовки після осадження, мм;

$H_{нок}$ – висота заготовки після осадження, мм;

σ_T – напруження плинності металу за температури осадження, що дорівнює межі міцності за тієї самої температури, МПа;

ε_K – ступінь деформації під час останнього удару ($\varepsilon_K = 0,025$ – $0,060$);

$V_{заг}$ – об'єм заготовки, см³.

Орієнтовно масу падаючих частин молота знаходять за довідковими даними залежно від розмірів заготовки (діаметр, сторона квадрата) і розмірів злитка.

Для вибору преса визначаємо зусилля преса, необхідне для осадження за формулою

$$P = M\sigma_{S(\tau)} \left(1 + 0,17 \frac{D_{нок}}{H_{нок}}\right) F_K \cdot 10^{-5}, \quad (7.12)$$

де $\sigma_{S(\tau)}$ – напруження течії сталі за температури кінця кування, МПа;

$D_{нок}$ – відповідно діаметр заготовки після осадження, мм;

$H_{нок}$ – висота заготовки після осадження, мм;

M – масштабний коефіцієнт, що залежить від маси злитка;

F_K – площа поперечного перерізу кування після осадження, мм².

Кінцеву висоту осадженої заготовки розраховуємо за формулою

$$H_K = (D_0^2/D_K^2)H_0, \quad (7.13)$$

де H_0 – початкова висота заготовки;

D_0 – вихідний діаметр заготовки.

Розрахунковий діаметр заготовки після осадження розраховуємо за формулою

$$D_K = D_0 \sqrt{\frac{H_0}{H_K}}. \quad (7.14)$$

Площу поперечного перерізу кування після осадження розраховуємо за формулою

$$F_K = \frac{\pi}{4} D_K^2. \quad (7.15)$$

Орієнтовно прес можна вибрати за довідковими даними залежно від маси та розмірів злитка.

7.6 Класифікація кованих поковок, основні технологічні операції

Уся різноманітність поковок поділена на групи I–VII і 24 підгрупи. Конфігурації заготовок від простої циліндричної

форми до складної – колінчастий вал, бугель, гак. Для кожної групи передбачений типовий технологічний процес та основні інструменти.

Попередні операції: обкочування злитка, вирубування, розрубання.

Основні операції: осадження, прошивання, розгін, передавання, надрубання, скручування, протягання, розкочування, гнуття, ковальське зварювання.

Оздоблювальні операції: редагування, клеймування.

7.7 Розроблення креслень кованої поковки

Вихідними даними є креслення деталі. Припуски та допуски на поковки із вуглецевої та легованої сталі під час кування на молотах установлюють згідно з ГОСТом 7829-70, на пресах – із ДСТУ 9182:2022.

Визначаємо виконавчі розміри поковки та викреслюємо контурною лінією, а контур деталі зображуємо штрихпунктирною лінією.

Розміри поковок типу валів, кілець проставляємо від базового перерізу. Над розмірною лінією зазначаємо розміри поковки, під розмірною лінією – розміри деталі (номінальні). У правому верхньому куті зазначаємо знак шорсткості (рис. 7.5).

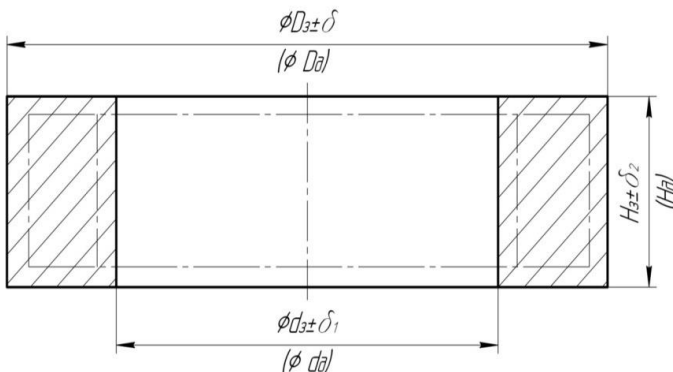


Рисунок 7.5 – Креслення кованої деталі «Кільце»

У технічних вимогах до креслення зазначають: твердість заготовки, допустимі відхилення форми та розмірів поковки, вимоги до мікро- та макроструктури.

Під час кування заготовок із прокату масу вихідної заготовки розраховуємо за формулою

$$G_{заг} = G_n + G_{виг} + G_{відруб} , \quad (7.16)$$

де G_n – маса поковки за кресленням;
 $G_{виг}$ – відхід металу на вигар (2–2,5 %);
 $G_{відруб}$ – відходи металу на відрубання (1–5 %).

Для наближеного розрахунку відходів $G_{відруб}$ під час кування з прокату можна скористатися коефіцієнтом виходу придатного (табл. 7.3). Під час виготовлення поковок осадом розміри вихідної заготовки ($d_{заг}$ – діаметр заготовки, або $a_{заг}$ – сторона квадрата) визначаємо, зважаючи на об'єм заготовки $V_{заг}$ за такими формулами:

$$d_{заг} = (0,8 - 1,0) \cdot \sqrt[3]{V_{заг}}, \quad (7.17)$$

$$a_{заг} = (0,75 - 0,9) \cdot \sqrt[3]{V_{заг}}. \quad (7.18)$$

Відповідно до сортаменту за Державними стандартами знаходимо найближчі розміри перерізу заготовки. Довжину чи висоту заготовки розраховуємо за формулою

$$h_{заг} = \frac{V_{заг}}{F_{заг}}, \quad (7.19)$$

де $F_{заг}$ – площа заготовки.

Таблиця 7.3 – Значення коефіцієнта виходу, придатного для різних способів виготовлення поковок

Група поковки	Технологія виготовлення	Вид поковки	Коефіцієнт виходу придатного
1-ша	Без обсікання	Фланці гладкі, круглі, овальні пластини, кубики	0,98–0,97
2-га	Протягування з подальшим гнуттям	Скоби, вилки	0,97
3-тя	Осадом із подальшим розгоном полотна	Шестерні, фланці, муфти, кришки	0,97
4-та	За допомогою клинових накладок	Клини, шпонки	0,95–0,92
5-та	Протягуванням	Гладкі вали, бруски, планки, стрижні	0,94–0,92
6-та	Протягуванням з односторонніми уступами	Двоступінчасті вали, вали з фланцями, болти	0,93–0,92
7-ма	Протягуванням із двосторонніми уступами	Багатоступінчасті вали, прямокутні бруски з уступами	0,92–0,91
8-ма	Осадом із подальшим прошиванням, розкочуванням, протягуванням на оправці	Кільця, втулки, обичайки	0,9–0,8
9-та	З обсіканням країв	Сектори, державки, куліски, собачки	0,92–0,8

Під час кування заготовок із злитків масу вихідної заготовки визначаємо за формулою

$$G_{зл} = G_n + G_{виг} + G_{відх} + G_{\partial} + G_{ПР}, \quad (7.20)$$

де G_n – маса поковки за кресленням, визначають за номінальними розмірами;

$G_{виг}$ – маса відходження на вигар;

$G_{відх}$ – маса технологічних відходів;

$G_{\partial}, G_{ПР}$ – маса відходів під час відрубання відповідно до даної та прибуткової частин злитка.

Контрольні питання

- 1 Охарактеризуйте основні типи молотів, їх ККД.
- 2 Опишіть пристрій молотового штампа.
- 3 Сутність класифікації поковок.
- 4 Визначення кількості канавок під час штампування.
- 5 Особливості розроблення креслення кування.
- 6 Охарактеризуйте сутність процесу кування.
- 7 Яке обладнання та інструмент використовують під час кування?
- 8 Від чого залежить якість поковок?
- 9 Назвіть переваги процесу кування.
- 10 Які розрахунки проводять під час вибору молота?
- 11 Які розрахунки проводять під час вибору преса?
- 12 Як класифікують ковані поковки?
- 13 Які існують основні технологічні операції під час отримання кованих поковок?
- 14 Назвіть послідовність розроблення креслення кування.

РОЗДІЛ 8

ШТАМПУВАННЯ НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КУВАЛЬНИХ І СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИНАХ

8.1 Кривошипні гарячештампувальні преси і класифікація штампованих поковок

Кривошипні гарячештампувальні преси (КГШП) застосовують у серійному та масовому виробництвах. Орієнтовно прес вибирають за масою поковки залежно від необхідного зусилля штампування.

Порівняно з молотами КГШП мають деякі переваги:

- більш високий ККД 6–8 %;
- продуктивність до 2 разів вища, оскільки деформація на пресі в кожній канавці відбувається за один хід, а на молоті – за кілька ударів;
- більш високий КВМ;
- більш висока точність розмірів поковки;
- можлива механізація та автоматизація перекладання заготовок із канавки в канавку.

Недоліки КГШП порівняно з молотами:

- у 3–4 рази вища вартість обладнання;
- можливість заклинювання та поломки пресів за крайнього нижнього положення повзуна;
- більш складні конструкції штампів;
- перед штампуванням заготовки потрібно очищувати від окалини або застосовувати види нагрівання, що не утворюють окалини.

Спрощена схема КГШП наведена на рисунку 8.1.

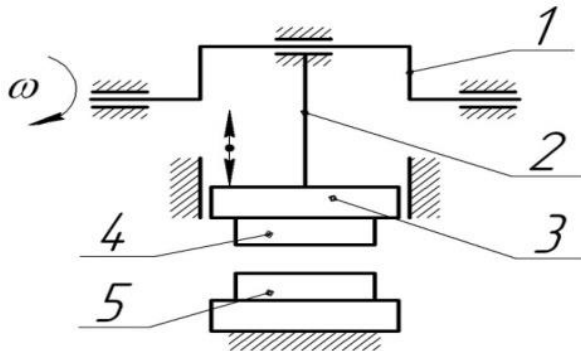


Рисунок 8.1 – Спрощена схема механізму КГШП:
 1 – кривошип; 2 – шатун; 3 – повзун; 4 – верхня матриця штампа; 5 – нижня матриця штампа

Під час обертання кривошипа 1 шатун 2 здійснює зворотно-поступальне переміщення з повзуном 3 і матрицею 4, завдаючи удару по заготовці, розміщеній у нижній матриці штампа. Площини рознімання штампа не зникаються на відміну від молотових штампів.

Поковки, що штампуються на КГШП, класифікують так:

- залежно від характеру формозміни й течії металу – на два класи: клас поковок, одержуваних переважно осіданням; клас поковок, одержуваних переважно видавлюванням;
- залежно від конфігурації (п'ять груп) – шестерні, фланці, розподільні вали, ступінчасті вали, важелі, хрестовини, кулаки.

На рисунку 8.2 наведені окремі схеми фасонування заготовок.

Об'єм вихідного металу $V_{зг}$ для отримання поковки визначаємо за формулою

$$V_{зг} = V_n + V_{обл} + V_{виг}, \quad (8.1)$$

- де V_n – об'єм поковки;
 $V_{обл}$ – об'єм металу, що йде в облой;
 $V_{виг}$ – втрати металу на вигар.

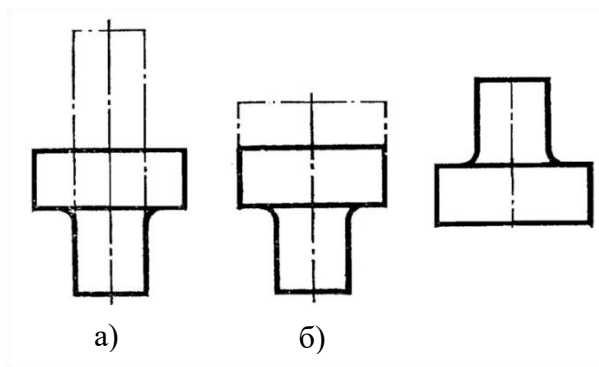


Рисунок 8.2 – Варіанти штампування фланцевої втулки:
а) висаджуванням; б) видавлюванням

$$V_{\text{обл}} = V_{\text{міст}} + V_{\text{маг}} = p \cdot (b \cdot h + h_{\text{сер}} \cdot B), \quad (8.2)$$

- де $V_{\text{міст}}$ – об’єм містка облою;
 $V_{\text{маг}}$ – об’єм металу в магазині облою;
 p – периметр поковки, мм;
 b – ширина містка, мм;
 h – товщина містка, мм;
 $h_{\text{сер}}$ – середня товщина облою в магазині, мм;
 B – ширина облою в магазині, мм.

На рисунку 8.3 наведений один із трьох типів облойних канавок.

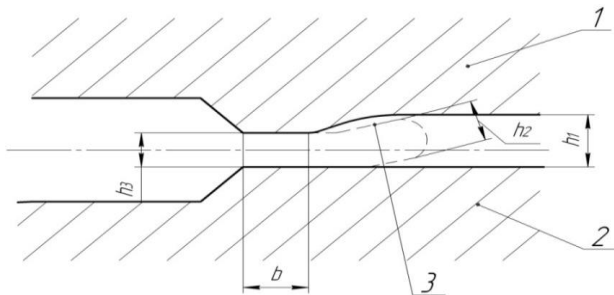


Рисунок 8.3 – Один із типів облойних канавок:
1 – верхня матриця штампа; 2 – нижня матриця штампа;
3 – магазин

8.2 Гідравлічні та гвинтові преси. Сфера застосування

На гідропресах штамнують великі поковки, які неможливо отримати на іншому ковальському обладнанні, а також поковки, для яких необхідний великий робочий хід силових органів. Дія преса базується на використанні закону Паскаля (тиск, вироблений на рідину зовнішніми силами, передається нею в усіх напрямках однаково).

Раціональна сфера застосування – масове виробництво. Наприклад, колеса рухомого складу залізних доріг, колінчасті вали, стакани, диски, трійники тощо.

Найбільш досконалими моделями, застосовуваними в серійному виробництві, є електрогвинтові преси.

Швидкість повзуна гвинтових пресів (фрикційних, дугостаторних, гідравлічних) у момент удару – 1–3 м/с, що більше порівняно з пароповітряними молотами та гідропресами. Це зумовило їх застосування для штампування поволок із важкодеформованих і малопластичних сталей і сплавів. Спрощена схема преса з дугостаторним приводом наведена на рисунку 8.4.

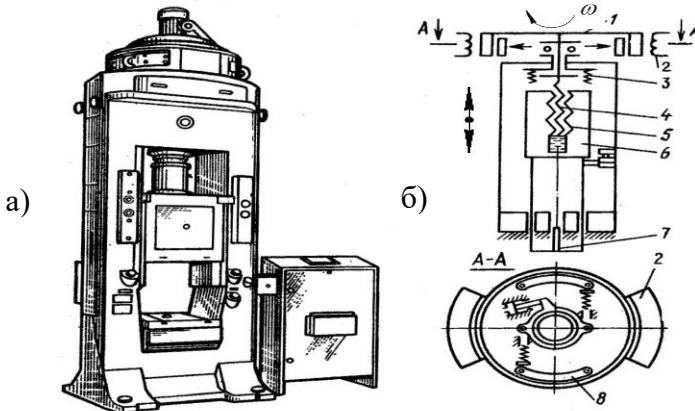


Рисунок 8.4 – Схема гвинтового преса з дугостаторним приводом: а) загальний вигляд; б) кінематична схема;
1 – ротор-маховик; 2 – дугові статори; 3 – амортизатори;
4 – гвинт; 5 – гайка; 6 – повзун; 7 – виштовхувач; 8 – гальмо

У цьому пресі дія привода повзуна базується на використанні обертального електромагнітного поля, створюваного дуговими статорами 2, які обертають короткозамкнений ротор-маховик 1 і гвинт 4. Останній переміщує гайку 5 із повзуном 6.

8.3 Штампування заготовок на горизонтально-кувальних машинах

Порівняно з розглянутими моделями ковальських машин процес штампування поковок на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ) більш продуктивний, оскільки є напівавтоматичним. Можливе виготовлення стрижневих заготовок, осей, шківів, втулок (I–V групи).

Штампи ГКМ мають два рознімання: одне – між пуансонами й матрицями, інше – між матрицями, тобто рознімання взаємно перпендикулярні (рис. 8.5). Головне рознімання відбувається між пуансоном, що закріплений у блоці пуансонів 1 і рознімній матриці, розміщеній у блоках матриць – нерухомому 3 і рухомому 4.

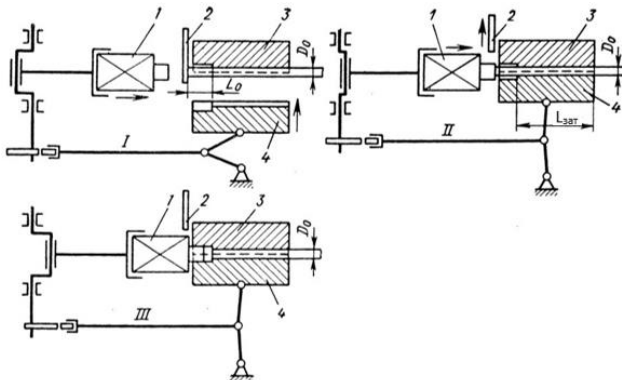


Рисунок 8.5 – Схема штампування на горизонтально-кувальних машинах (вигляд у плані)

На початку процесу пуансон і обидві половини матриці розімкнені (положення I). Пруток металу діаметром D_0 спрямовуємо у нерухому частину матриці до упору 2, положення якого відрегульовано для розміщення в порожнині матриці заданої ділянки прутка довжиною L_0 . Потім включаємо машину на робочий хід, до того ж рухомі частини штампів рухаються в такому порядку. Насамперед у робоче положення встановлюємо рухому частину матриці, що міститься в блоці 4 (положення II). Це забезпечує щільний затиск прутка на довжині $L_{зат}$, після цього упор 2 відходить, а пуансон стикається із прутком металу. За подальшого руху пуансона висаджується вільна довжина L_0 прутка, водночас заготовка заповнює порожнину канавки (положення III).

За зворотного ходу машини з порожнини матриці віддаляється пуансон із блоком 1, потім відходить блок 4 з частиною матриці, після цього встановлюється у вихідне положення упор 2, і штампувальник може вийняти з канавки пруток із висадженим кінцем. Такий порядок руху частин інструмента забезпечується кривошипною системою головного ходу та кулачковою системою бічного ходу машини.

На ГKM заготовки зазвичай штампують у декількох канавках штампа, розміщених вертикально по висоті блоків. Висаджувальний штамп має дві-три канавки, у виняткових випадках – чотири-п'ять залежно від довжини деформованої частини прутка і складності конфігурації поковки. Можливе закриття прошивання отвору в заготовці.

Канавки штампів горизонтально-кувальних машин поділяють на підготовчі та остаточні. Форма остаточних канавок обумовлюється формою поковки, заданої кресленням. За позовжнього штампування на ГKP попередні операції полягають в осаджуванні та формуванні заготовки переважно для додання їй стійкості під час оброблення в наступних канавках.

Формувальні, остаточні канавки. Чим складніша конфігурація поковки, тим більше операцій потрібно для її формування. Формують канавки d матриці (рис. 8.6 а), в

пуансоні (рис. 8.6 б) або частково в матриці та пуансоні (рис. 8.6 в).

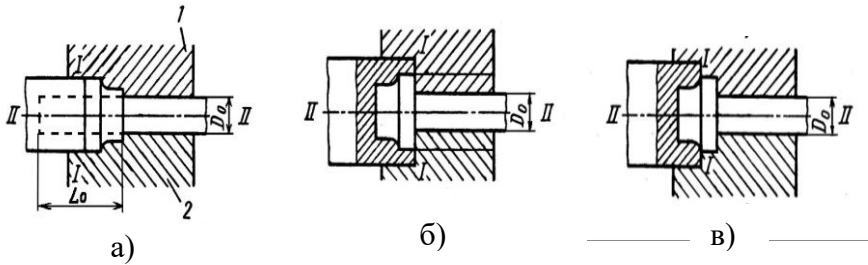


Рисунок 8.6 – Схеми розміщення поковки у штампах (горизонтальний розріз штампів, вигляд зверху):

1 – нерухома частина матриці; 2 – рухома частина матриці

Положення головної площини рознімання на рисунку 8.6 позначено лінією I–I, а додаткової площини рознімання, що проходить через матрицю, – лінією II–II. Формування у рознімній матриці (рис. 8.6 а) дозволяє штампувати без ухилів. Але водночас отримуємо точність, меншу ніж за штампування в пуансоні (рис. 8.6 б), оскільки зсув частин матриці один щодо іншого призводить до спотворення форми поковки.

Формування в пуансоні забезпечує повну відповідність форми поковки, але водночас необхідні штампувальні уклони ($1-2^\circ$), що призводять до напуску металу.

За необхідності висаджувати пруток на велику відстань від його кінця частина прутка не може бути розміщена у пуансоні. У цих випадках застосовують ковзні матриці (рис. 8.7). Задні частини блоків матриць 3 і 4 затискають пруток силою N_1 на довжині $L_{\text{зат}}$. У передніх частинах цих блоків розміщують ковзні повзуни 1 і 5 із порожнинами матриць і додатковою затискнуою канавкою на ділянці $L'_{\text{зат}}$. Таким чином, пруток виявляється затиснутим по обидва боки ділянки L_1 , що підлягає висадженню. Під час натискання пуансона б на пруток або на ковзні частини матриць вони переміщуються на величину l ; водночас відбувається деформація на ділянці прутка L_1 . За зворотного ходу пуансона після розтискання матриць ковзні їх

частини повертаються у вихідне положення за допомогою пружин 2.

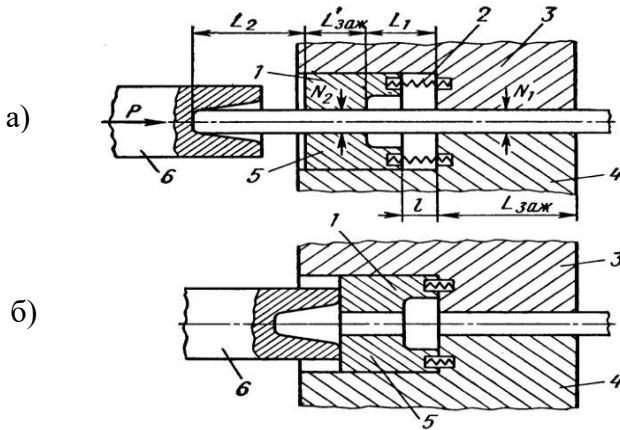


Рисунок 8.7 – Схеми висадки в ковзних матрицях:
а) початкова; б) кінцева стадії (переріз, вигляд зверху)

Одночасно з висадженням у ковзних матрицях можна висаджувати на кінці прутка (на довжині L_2). У ковзних матрицях можна також висаджувати одночасно кілька потовщень (рис. 8.8).

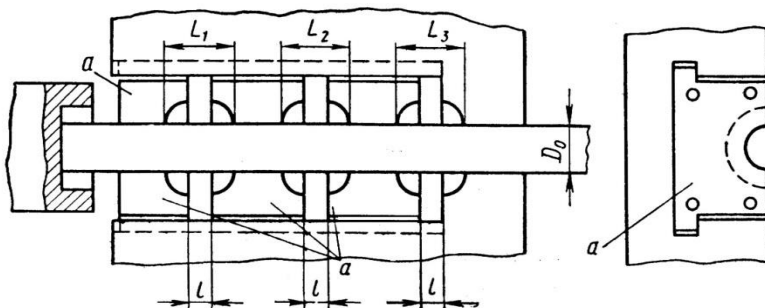


Рисунок 8.8 – Схема одночасної висадки чотирьох потовщень, три з яких отримують у ковзних матрицях:

L – хід ковзної матриці; L_1 – L_3 – вихідні довжини висадки;
 a – ковзні частини матриць (вигляд на правий бік матриць)

Прошивні канавки. Призначення прошивання полягає в утворенні порожнин у поковках із глухими чи наскрізними отворами. Прошивка називається глибокою, якщо глибина, на яку прошивають порожнини, значно більша від діаметра заготовки. Для глибокої прошивки застосовують пуансони різної форми залежно від необхідної форми дна порожнини поковки, види наступної операції та співвідношення розмірів заготовки ($L_0: D_0$).

Прошивку виконують за $D_N: D_0 \leq 0,75$.

На практиці беруть $D_N: D_0 \leq 0,5-0,6$. За $D_u = 20$ мм не забезпечується достатня стійкість пуансона через швидке його розігрівання.

Осад під час прошивання більш імовірний на початку процесу. Чим більший $D_N:D_0$ і $L_0:D_0$, тим більш імовірний осад під час прошивання. За $L_0:D_0 > 3$ відбувається поздовжній вигин заготовки.

Канавки для трубних заготовок. Горизонтально-кувальні машини зручні для оброблення труб особливо великої довжини, коли висадка є єдиною можливим способом отримання фланців і потовщень на кінці труб. На практиці широко застосовують висадку труб для великої кількості різноманітних трубних поковок (рис. 8.9).

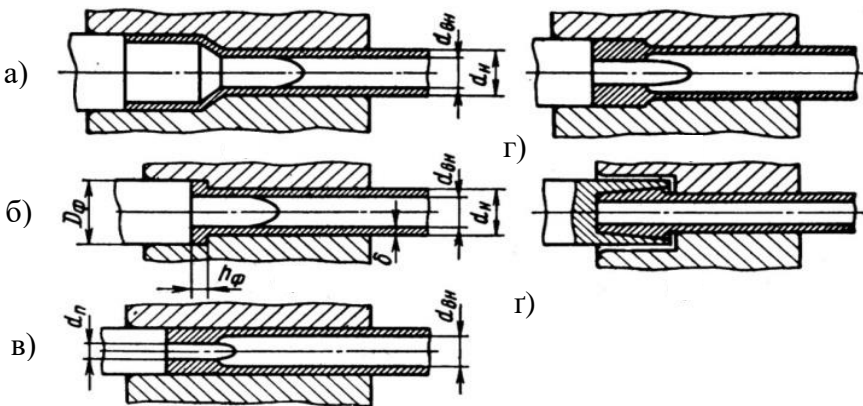


Рисунок 8.9 – Висадка трубних заготовок

Внутрішній і зовнішній діаметри труби (рис. 8.9 а) можна збільшити за рахунок стоншення труби та без нього. За необхідності можна отримати фланець (рис. 8.9 б), потовщення всередину (рис. 8.9 в), а також потовщення, що виступає назовні та всередину труби (рис. 8.9 г).

Відповідно до ГОСТу 7505-89 до маси поковки повинна входити частина стрижня, що затискається штампами.

Контрольні питання

- 1 Опишіть принцип роботи КГШП.
- 2 Назвіть переваги і недоліки роботи КГШП порівняно з молотами.
- 3 Дайте класифікацію поковок, що штамнуються на КГШП.
- 4 Які основні технологічні операції на КГШП?
- 5 Як визначають маси вихідного металу під час штампування на КГШП?
- 6 Опишіть принцип роботи гідропреса.
- 7 Назвіть сферу застосування гідропреса.
- 8 Опишіть принцип роботи дугостаторного преса.
- 9 Опишіть принцип роботи ГКМ та основні технологічні операції.
- 10 Назвіть основні три типи формувальних канавок на ГКМ.
- 11 Опишіть схему штампування в ковзних матрицях.

РОЗДІЛ 9 ПРОЄКТУВАННЯ ЗВАРНИХ І КОМБІНОВАНИХ ЗАГОТОВОК

9.1 Принципи конструктивно-технологічного проєктування зварних конструкцій

Відомо, що конструкція виробу впливає на вибір технології виготовлення. Це означає, що прийняті конструктивні рішення обмежують вибір прийомів і способів зварювання. Так, наприклад, під час виготовлення корпусу гідроциліндра можливі як мінімум два проєктних варіанти, залежно від прийнятих конструктивних рішень. Вплив конструктивного оформлення оброблення кінців циліндра та днища під зварювання на технологію наведено на рисунку 9.1.

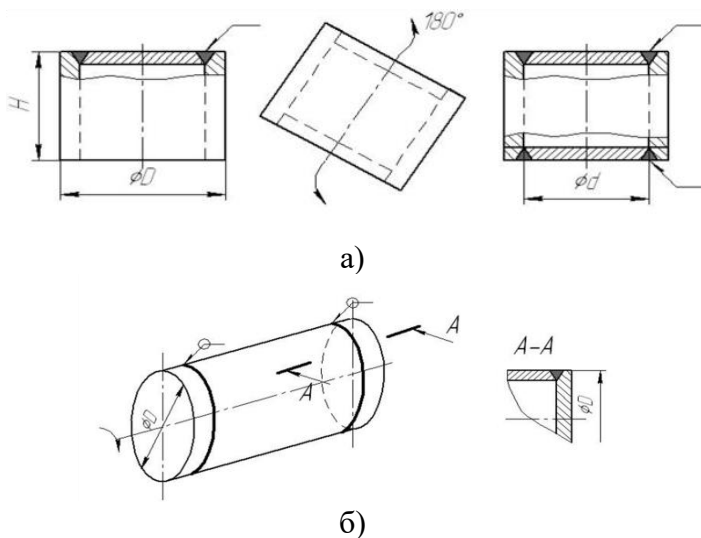


Рисунок 9.1 – Варіанти зварювання днищ циліндра:
а) незадовільне; б) оптимальне

Варіант «а» є незадовільним, оскільки за такої схеми оброблення кінців для кутового зварювання необхідно кантувати циліндр на 180° , щоб уникнути стельового шва.

Варіант «б» оптимальний, оскільки за іншої схеми оброблення кінців можливе застосування напівавтоматичного зварення днищ з обох боків циліндра одночасно. Це підтверджує взаємний вплив прийнятого конструктивного рішення виготовлення виробу на технологію. Технологічність нового конструктивного оформлення вища. В інших випадках вибрані конструктивні рішення у звареному виробі впливають на зміну вихідних властивостей матеріалу, на точність збереження проектних розмірів і форми конструкції та на виникнення в ній того чи іншого напруженого стану, що впливає на працездатність зварної конструкції. Оптимальний варіант конструкції повинен враховувати ці технологічні впливи під час виготовлення. Отже, необхідне комплексне проектування зварної конструкції й технологічного процесу її виготовлення. Викладене розберемо на прикладі розроблення конструкції і технології виготовлення редукторного колеса (рис. 9.2).

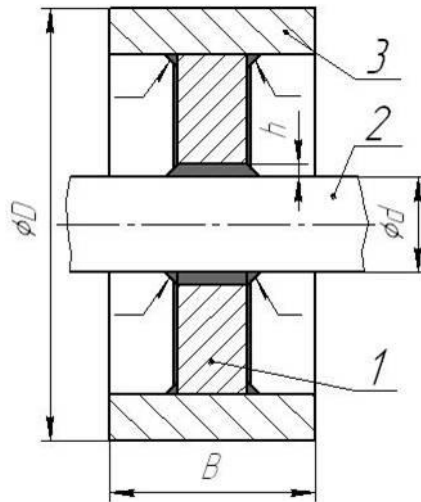


Рисунок 9.2 – Ескіз редукторного колеса:
1 – диск; 2 – вал; 3 – обід

Припустимо, що під час проектування зубчастого колеса редуктора як матеріал обода і вала вибрали високоміцну гартовану сталь, що вимагає підігрівання під час зварювання. У результаті цього пара ободів із дисками буде працездатною, а в

з'єднанні дисків із валом виникнуть тріщини вже у процесі виготовлення. Обід під час охолодження буде спричинювати у швах, що з'єднують його з дисками, напруження розтягнення. Підігрів вала перед зварюванням призведе до того, що за його охолодження після зварювання у швах, що з'єднують його з дисками, виникнуть напруження розтягнення. Відбудеться відрив дисків від вала. У результаті за з'єднання зварюванням двох сталей одна й та сама технологія в одних конструктивних умовах дає позитивні, а в інших – негативні результати.

Отже, вибирати технологію зварювання матеріалів без урахування особливостей зварюваної конструкції неприпустимо, а з іншого боку, неприпустимо вибирати конструктивні форми зварних з'єднань без урахування конкретної технології виготовлення конструкції.

У розглянутому випадку для запобігання відриву дисків від вала зварювання необхідно проводити без застосування підігріву, а для запобігання підгартуванню зони біля шва необхідно змінити конструкцію з'єднання. На вал у місцях примикання дисків наплавити буртик із металу, що не піддається гартуванню. Висота h буртика повинна бути такою, щоб під час зварювання з диском температура нагрівання основного металу вала була нижчою від критичної температури AC_1 , що виключає підгартування основного металу. Висота h визначається розрахунком, що базується на теорії поширення тепла під час зварювання.

Таким чином, доведена очевидна необхідність обґрунтування тих чи інших рішень не лише розрахунками міцності, а й технологічними розрахунками. Комплексне конструктивно-технологічне проектування є необхідною умовою, що забезпечує раціональність проекрованої конструкції. Однак одночасності розроблення проекту конструкції та проекту технологічного процесу її виготовлення ще недостатньо для максимального використання всіх можливостей зварювання та для повної гарантії надійної роботи зварної конструкції.

Існуючі методи розрахунків міцності зазвичай не враховують дій, що впливають на конструкцію процесом її виготовлення. Тому у виконуваних розрахунках міцності виходять із нормативних властивостей матеріалу без урахування змін, що спричинюються процесом зварювання, без урахування наявності у зварних з'єднаннях неоднорідності властивостей у різних зонах. Розрахунки міцності проводять, орієнтуючись на напружений стан, який спричинюється лише зовнішнім навантаженням, і не враховують того поля напружень, що створене процесом виготовлення конструкцій. Під час розрахунків виходять із проєктних розмірів і форм окремих зварних з'єднань і елементів без урахування спотворень, спричинених зварювальними деформаціями. Усе це призводить до того, що розрахунки перестають правильно відтворювати дійсні умови роботи конструкції та в низці випадків не можуть гарантувати надійність роботи конструкції. Тому необхідно в розрахунках міцності та стійкості враховувати технологічні впливи.

Якщо в цей час і враховують в окремих випадках технологію при розрахунках, то це роблять введенням поправкових коефіцієнтів у допустимі напруження, граничні навантаження. Такий підхід призводить до зайвих витрат матеріалу, оскільки знижувальні коефіцієнти доводиться застосовувати і там, де вони не потрібні, і, крім того, вони не дають гарантії надійності. Тому необхідні уточнення методу розрахунків міцності, в яких би враховувалися технологічні чинники. Поряд із розрахунками міцності повинні виконуватися і розрахунки точності, які майже не здійснюються. Існують методи розрахунків деформацій під час зварювання. Вони дозволяють за допомогою розрахунків оцінювати точність зварного елемента, а, отже, ще під час проєктування конструкції передбачати ті заходи підвищення точності, які доведеться приймати під час виготовлення конструкції, якщо конструктивними засобами досягти необхідної точності неможливо. Таким чином, за конструктивно-технологічного проєктування зварних заготовок необхідно застосовувати

уточнені методи розрахунків міцності, також розрахункові методи оцінювання технологічності й точності зварних конструкцій.

Очевидно, що застосування нових методів розрахунків, які базуються на комплексному підході різноманітних конструктивних і технологічних факторів, потребує в низці випадків перегляду норм і критеріїв якості зварних конструкцій.

Вибір схеми технологічного процесу визначається характером чи типом виробництва.

9.2 Комбіновані зварні заготовки

Комбіновані заготовки характеризуються більшою технологічністю, ніж виливки, поковки. Їх упровадження знижує терміни освоєння виробництва, скорочує витрати на ливарне та штампувальне оснащення.

Види комбінованих заготовок:

- зварювально-литі заготовки – станини пресів, верстатів, корпусів редукторів тощо. Під час конструювання зварювально-литих заготовок додатки на литві розміщені далеко від кінців, що підлягають зварюванню. Підвищений вміст сірки та вуглецю в місцях розміщення додатків призводить до появи дефектів у зварних швах і в прилеглих до них зонах металу виливка. Під час конструювання зварювально-литих заготовок, що утворюють жорсткий контур, необхідно передбачати з'єднання окремого елемента з іншою частиною конструкції не більше ніж двома зварними швами. У разі більшої кількості стиків здійснити зварювання набагато складніше. Під час конструювання великогабаритних зварювально-литих заготовок намагаються, щоб габаритні розміри дрібних виливків забезпечували можливість машинного формування, а довжина окремих частин сприяла уникненню викривлення не більше ніж 4–5 м;

- штампувально-зварні заготовки – рами, шківни, ободи й інші, виготовляють зазвичай із листового матеріалу. Конструкція штампувально-зварної заготовки повинна

одночасно відповідати умовам технологічності, листового штампування і зварювання;

- зварювально-ковано-литі заготовки – виготовляють поєднанням литих елементів із поковками або заготовками з прокату, що з'єднуються зварюванням – ротори турбін, масивні вали тощо.

Проектування комбінованих зварних конструкцій передбачає вирішення технічного завдання комплексного використання багатьох сучасних технологічних і конструктивних можливостей для підвищення працездатності конструкції, зниження трудомісткості, полегшення механізації і підвищення продуктивності праці. Безпосередньо зварювання використовується як технологічний процес, що дозволяє застосувати в одній конструкції будь-які прогресивні технологічні засоби для виробництва окремих її частин, окремих заготовок, із яких складається ціла (у результаті перетворюючись на монолітну) конструкція. Більше того, застосування комбінованих конструкцій замість суцільнолитих, суцільнокованих і суцільнозварних дозволяє не лише вдосконалювати виробництво конструкцій загалом, а й полегшує виробництво заготовок. Замінюючи, наприклад, суцільнолиту конструкцію на зварну, що включає і лиття деталей, створюються умови для використання більш прогресивних механізованих методів лиття, які, як правило, виявляються неприйнятними при виробництві суцільнолитої конструкції. Водночас якість литих заготовок виявляється значно вищою від якості суцільнолитих конструкцій, для яких заварювання браку, виявленого після лиття, перетворилося на нормальну та обов'язкову операцію. Те саме має місце й у поковок. Їх якість знижується зі збільшенням розмірів. Зростають труднощі досягнення однорідності властивостей матеріалу в різних частинах великих поковок.

Зростаючі вимоги до якості виробів та підвищення продуктивності праці вже неможливо вирішити застосуванням одного технологічного процесу. Тому під час проектування та виготовлення машинобудівних конструкцій повинні комплексно

використовуватися всі сучасні способи оброблення металів тиском, лиття, методи зварювальної технології.

Заміна суцільнолитих деталей зварними часто обмежується лише розчленуванням одного великого виливка на декілька більш дрібних, які потім зварюються між собою. Навіть такий, найбільш примітивний прийом проектування комбінованої звареної конструкції дозволяє отримати значущий технічний та економічний ефект за рахунок підвищення продуктивності праці під час виготовлення більш дрібних виливків і за рахунок підвищення якості виливків, які можуть не вимагати зварювання браку після лиття, неминучого під час виготовлення великих виливків.

За завчасного розчленування конструкції на дрібні деталі можна здешевити їх виготовлення, створити відповідне оснащення та механізувати зварювальні роботи.

Ще більший ефект може бути одержаний за використання в одній конструкції не лише виливків, а й поковок, заготовок із листового та профільного прокату і заготовок, виконаних іншими технологічними процесами.

9.3 Напрямки вдосконалення зварних конструкцій

Напрямки вдосконалення зварних конструкцій:

- перехід на нові принципи конструктивно-технологічного проектування зварних конструкцій (комплексне вирішення питань міцності, точності, технологічності й економічності для вирішення раціональності зварних конструкцій). Це забезпечить найменші витрати матеріалів, часу та праці на їх виготовлення та забезпечить найбільшу їх довговічність;
- розширення застосування комбінованих зварних конструкцій із використанням в одній конструкції різних матеріалів і різних технологічних процесів;
- застосування попередньо напружених конструкцій і використання місцевих попередніх напружень для підвищення працездатності окремих вузлів і з'єднань у зварних конструкціях.

Контрольні питання

- 1 Перелічіть основні принципи конструкторсько-технологічного проектування зварних конструкцій.
- 2 Які є основні види комбінованих зварних заготовок?
- 3 Напрями вдосконалення зварних конструкцій.

РОЗДІЛ 10

ЗАГОТОВКИ, ОТРИМУВАНІ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

10.1 Застосування конструкційних порошкових матеріалів

Виробництво заготовок методами порошкової металургії передбачає:

- отримання та підготовку порошоків вихідних матеріалів (металів, сплавів, металоїдів тощо);
- пресування виробів необхідної форми в спеціальних пресформах;
- термічне оброблення (спікання) спресованих виробів, що забезпечує їм остаточні властивості.

Іноді застосовують поєднання операцій пресування і спікання (гаряче пресування), просочення пористого брикету розплавленим металом, допресовування або калібрування спечених напівфабрикатів тощо.

Методи порошкової металургії дозволяють отримати матеріали як аналогічні за структурою та властивостями традиційним, так і ті, що володіють абсолютно новим комплексом властивостей. Водночас поєднуються процеси отримання конструкційних матеріалів і формоутворення заготовок, які часто не потребують подальшого розмірного оброблення або піддаються незначному механічному обробленню.

Залежно від умов експлуатації конструкційні порошкові матеріали (КПМ) поділяють на дві групи:

- матеріали, які замінюють звичайні вуглецеві і леговані сталі, чавуни і кольорові метали;
- матеріали зі спеціальними властивостями – зносостійкі, інструментальні, жароміцні, жаростійкі, корозійностійкі, для атомної енергетики, з особливими фізичними властивостями (магнітними, електро- і теплофізичними тощо), важкі сплави, матеріали для вузлів тертя – антифрикційні і фрикційні тощо.

Фізико-механічні властивості КПМ за інших однакових умов визначають щільністю (або пористістю) виробів, а також умовами їх отримання. За ступенем навантаження порошкові деталі поділяють на чотири групи (табл. 10.1).

Міцність і жорсткість *малонавантажених* деталей не розраховують, їх розміри вибирають із конструктивних або технологічних міркувань. Під час виготовлення з традиційних литих або деформованих матеріалів такі деталі мають занадто великий запас міцності і підвищену масу. Тому масове виготовлення заготовок цих деталей методами порошкової металургії дозволяє економити значну кількість металу. Причому можуть бути використані найбільш дешеві порошки металів без їх легування (зазвичай порошки заліза або шихти на його основі з добавками вуглецю).

До *помірнонавантажених* деталей умовно відносять такі, працездатність яких упродовж усього періоду експлуатації за діючих напружень забезпечують КПМ із межею міцності, що не перевищує за статичного одноосового розтягнення 45–65 % (в умовах динамічного навантаження – 35–60 %) відповідних характеристик безпористого матеріалу аналогічного складу. Зазвичай їх виготовляють із порошків вуглецевих або низьколегованих сталей. Більшість помірнонавантажених деталей не піддається розрахункам на міцність і жорсткість. Їх розміри також вибирають із конструктивних або технологічних міркувань.

Середньонавантажені деталі перебувають під впливом значних статичних або помірних динамічних навантажень. Їх виготовляють із порошків вуглецевих або легованих сталей, кольорових металів і сплавів. Необхідний рівень міцності деталей забезпечує матеріал пористістю 2–9 %.

На *важконавантажені* деталі впливають статичні або динамічні напруження великої інтенсивності. Працездатність таких деталей забезпечують КПМ, відносна міцність яких близька до міцності безпористого матеріалу.

Для отримання високих характеристик міцності КПМ використовують більш складні технологічні процеси, що включають подвійне (потрійне) пресування, калібрування, гаряче пресування, гаряче об'ємне штампування тощо.

Таблиця 10.1 – Характеристики конструкційних порошкових матеріалів

Деталь у міру навантаження	Група густини матеріалу	Пористість матеріалу, %	Межа міцності, % межі міцності безпористих матеріалів	Пластичність і ударна в'язкість, % даних властивостей безпористих матеріалів	Густина порошкових сталей, кг/м³
Мало-навантажені	1	25–16	30–45	25–35	6 000–6 600
Помірно-навантажені	2	15–10	45–65	35–60	6 700–7 100
Середньо-навантажені	3	9–2	65–95	60–90	7 200–7 700
Важко-навантажені	4	≤ 2	95–100	90–100	≥ 7 700

Перевагами виробництва заготовок методами порошкової металургії є:

- можливість застосування матеріалів із різноманітними властивостями – тугоплавких, псевдосплавів (Cu–W, Fe–C тощо), пористих (фільтри, самозмащувальні підшипники) тощо;
- маловідходність виробництва (відходи не перевищують 1–5 %);
- виключення забруднення перероблюваних порошкових матеріалів;
- залучення робітників невисокої кваліфікації;
- легкість автоматизації технологічних процесів та ін.

До недоліків порошкової металургії відносять:

- обмеженість розмірів і відносно простоту форми одержуваних виробів;
- економічність застосування за досить великих масштабів виробництва;
- залишкова пористість заготовок, яка в деяких випадках не дозволяє отримати такі самі фізико-механічні властивості, як у виливків і поковок.

Типовими деталями, які виготовляють із порошкових заготовок, є шестерні, кулачки, зірочки, накладки, шайби, заглушки, гайки, втулки, храповики, фланці, деталі вимірювальних інструментів та ін.

Вибір заготовок для виготовлення з КПМ проводять трьома етапами.

На першому етапі вивчаємо конструктивні особливості та умови роботи аналізованих виробів. Попередньо визначаємо найбільш масові і швидкозношувані деталі, а також деталі, які виготовляють із дорогих і дефіцитних матеріалів; визначаємо загальну річну потребу в порошкових заготовках цих деталей. Виявлені деталі класифікують за конструкцією і призначенням, конфігурацією та розміром, точністю розмірів і шорсткістю поверхонь, умовами експлуатації.

Під час аналізу конструкцій деталей із метою підвищення їх надійності за рахунок застосування КПМ необхідно враховувати кінематику і динаміку машини та складальної

одиниці; питомі навантаження, швидкості ковзання та інерційні зусилля; наявність вібрацій та інші фактори.

За умовами експлуатації (температура, вологість і агресивність довкілля, наявність або відсутність мастила, швидкість і тиск у зоні з'єднання тощо) вибирають тип порошкового матеріалу (конструкційний, антифрикційний, спеціального призначення) та його марку.

На другому етапі насамперед оцінюємо форму і розміри заготовки. Для цього викреслюємо ескіз заготовки, визначаємо її групу складності (табл. 10.2), аналізуємо можливість зміни форми і розмірів. Потім визначаємо послідовність операцій під час отримання заготовки (табл. 10.3), її розміщення в пресформі, необхідність операції калібрування або подальшого механічного оброблення для отримання необхідної точності розмірів.

За тиском пресування і площі поперечного перерізу заготовок знаходимо потрібну потужність пресового устаткування.

Під час аналізу можливості виробництва порошкових заготовок урахуємо складність виготовлення пресформ, кількість і трудомісткість операції, вплив конфігурації деталі на рівномірність щільності заготовки по всьому перерізу.

Найбільш доцільно виготовляти методами порошкової металургії заготовки з кольорових металів і сплавів (I–VII груп складності), сталеві й чавунні деталі великосерійного виробництва (I–V груп складності).

На третьому етапі для порівняння з іншими видами заготовок аналізуємо річну програму випуску порошкових заготовок, яка повинна бути не нижчою від критичної, коефіцієнт використання матеріалу й собівартість виготовлення заготовки з урахуванням подальшого механічного оброблення.

Таблиця 10.2 – Класифікація заготовок за групами складності

Група складності	Характеристика перерізу заготовок за висоюю (вздовж осі пресування)	Характеристика поверхонь, що обмежують заготовки по висоті	Відношення висоти заготовки до товщини стінки	Типові конструкції заготовок
I	Незмінний переріз, без отвору	Паралельні площини	1–3	
II	Незмінний переріз, з одним або декількома отворами в напрямку пресування		< 8	
III			8–10	
IV	Заготовки із зовнішнім або внутрішнім буртом		< 6	
V			6–8	
VI	Заготовки з декількома переходами по висоті, без отворів		–	
VII	Декілька зовнішніх або внутрішніх переходів за наявності отворів у напрямку пресування	Непаралельні площини або криволінійні поверхні, що перетинають осі пресування	–	

Таблиця 10.3 – Основні технологічні схеми виробництва заготовок методами порошкової металургії

Ступінь навантаження деталей	Квалітет точності	Група складності заготовок	Тип виробництва			
			дрібносерійне		серійне, масове	
			Технологічні операції			
			основні	додаткові	основні	додаткові
Мало-навантажені	11–14	I–VII	A	М, И, П	A	К, И, П
	5–10	I–VII	A	М, И, П	A, Б	К, И, П
Помірно-навантажені	11–14	I–VII	Б, Е, Ж	М, ТО, И, П	Б, Е, Ж	И, П
	5–10	I–IV	Б	М, ТО, И, П	Б	ТО, И, П
		V–VII	Б		Б	ТО, Д, И, П
Середньо-навантажені	11–14	I–VII	Г, Е, Ж	ТО, Д, И, П	Г, Е, Ж	ТО, П
	5–10	I–VII	В, Г, Ж	М, ТО, П ТО, Д, П	В, Г, Ж	ТО, Д, П
Важко-навантажені	11–14	I–VII	В, Г, Н	М, ТО, П	В, Г, Н	ТО, П
	5–7	I–VII	В, Г, Н	ТО, Д, П	В, Г, Н	ТО, Д, П

Примітка: А – холодне пресування + спікання; Б – подвійне пресування + спікання; В – холодне пресування + спікання + холодне штампування + відпал; Г – холодне пресування + спікання + гаряче штампування + відпал; Д – шліфування або доведення; Е – холодне пресування + просочення легкоплавким металом; Ж – спікання порошку у формі + просочення легкоплавким металом; И – просочення кремнійорганічною рідиною і полімеризація; К – калібрування; М – механічне оброблення; Н – холодне пресування + спікання + гаряче штампування зі спливанням металу + відпал; П – нанесення покриттів; ТО – термічне оброблення

Заготовки для виробництв методами порошкової металургії за складністю технологічної підготовки їх виробництва можна поділити на:

- заготовки, що мають аналоги за конструктивно-технологічними ознаками подібної складності з обраного типу КПМ, які освоєні промисловістю і можуть бути повністю виготовлені за відпрацьованою технологією;
- заготовки, що не мають аналогів подібної складності з достатнім досвідом промислового виробу, для яких необхідна перевірка окремих технологічних рішень;
- заготовки, які не мають аналогів за конструктивно-технологічними ознаками з обраного типу КПМ з будь-яким досвідом промислового впровадження.

Для виробництва заготовок першої категорії можуть бути використані типові або групові технологічні процеси, для заготовок третьої категорії необхідне розроблення нових технологічних процесів, а в низці випадків – проведення науково-дослідницьких робіт. У меншому обсязі такі роботи проводять за технологічної підготовки виробництва заготовок другої категорії.

10.2 Проектування заготовок із порошкових матеріалів

Перед оформленням креслення порошкової заготовки необхідно ретельно проаналізувати технологічність її конструктивних форм.

З ускладненням форми пресованої заготовки ускладнюється досягнення рівномірної щільності в усіх її частинах. Під час пресування переміщення частинок порошку відбувається переважно лише в напрямку, паралельному тиску пресування. Тому доводиться застосовувати складові пуансоны, частини яких мають незалежний один від одного рух. Кожен перехід перерізу заготовки необхідно пресувати окремим пуансоном і в окремій частини матриці.

Чим складніша форма заготовки, тим більше переходів перерізу, тим складніша і дорожча пресформа для виготовлення

заготовки. Під час виготовлення заготовок підвищеної складності доводиться застосовувати різні матриці.

Складність виготовлення пресформ, їх стійкість і вартість є визначальними факторами доцільності виготовлення заготовок методами порошкової металургії. Іноді, особливо в умовах масового виробництва, для забезпечення технологічності необхідно змінити конфігурацію порошкової і з'єднуваної з нею деталей. Наприклад, канавки в отворі порошкової деталі можна перенести на деталь, що з нею з'єднується (рис. 10.1).

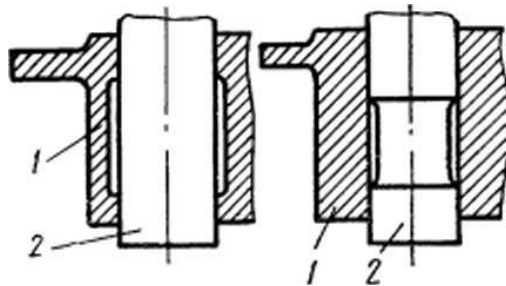


Рисунок 10.1 – Забезпечення технологічності конструкцій порошкової заготовки зміною конфігурації з'єднуваної деталі:

1 – деталь із порошкової заготовки; 2 – з'єднувана деталь

Для збереження форми пресування під час виштовхування з пресформи порошкові заготовки не повинні мати конструктивних елементів, що перешкоджають вільному їх виштовхуванню (різних припливів і поглиблень, розміщених під кутом до осі пресування, косих ребер та ін.). Застосування пресформ із двома і більше площинами рознімання виправдано лише у виняткових випадках, оскільки різко збільшує їх вартість і знижує продуктивність праці. Необхідно максимально зменшити кількість змін товщини або діаметра заготовки уздовж осі, особливо тоді, коли це не викликано конструктивною необхідністю (рис. 10.2 (1)). Також необхідно уникати різних змін товщини стінок (рис. 10.2 (2)).

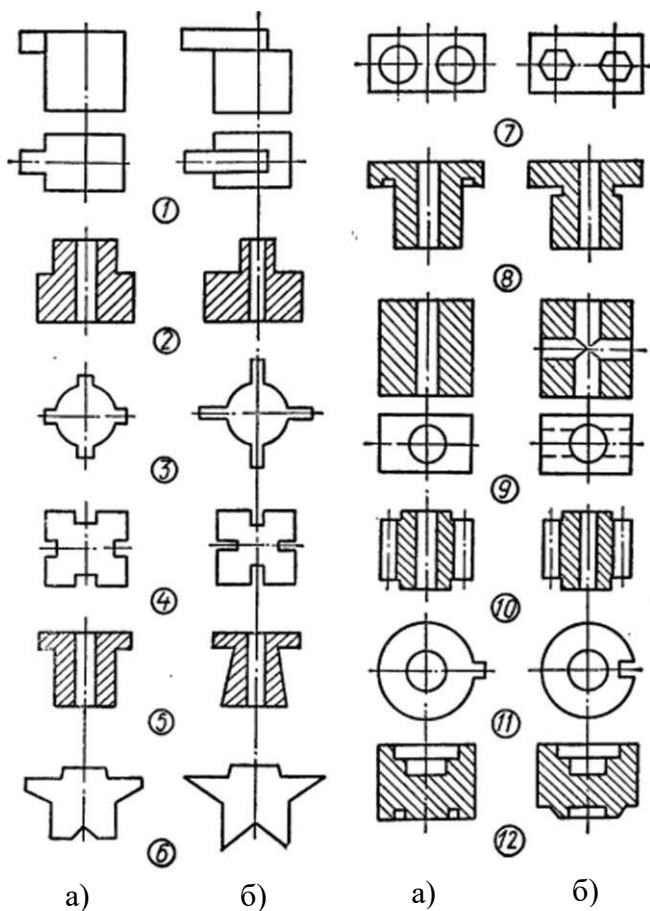


Рисунок 10.2 – Приклади конструкцій порошкових заготовок:
 а) технологічно; б) нетехнологічно

Товщина стінки заготовок діаметром 10–15 мм і висотою 15–20 мм повинна бути не менше ніж 1,2–1,5 мм. У більших заготовок мінімальна товщина стінок зростає (орієнтовно 0,8 мм на кожні 25 мм довжини). За висоти пресування менше від діаметра мінімальна товщина стінки становить 1,6 мм. Товщина донньої частини глухих отворів повинна бути не менше ніж 2–3 мм. Отвори повинні розміщуватися на відстані не менше ніж 2–3 мм від краю заготовки і один від одного. За товщини стінок або фланців до 2,5 мм їх зовнішні кути заокруглені, а за великих

товщин виконують фаску під кутом 45° . Біля основи конічних поверхонь передбачають циліндричний поясок шириною не менше ніж 0,5 мм. У конструкціях заготовки рекомендується уникати застосування вузьких і довгих виступів (рис. 10.2 (5)), довгих і вузьких виїмок (рис. 10.2 (4)), ширина таких виступів і виїмок повинна бути не менше ніж 3–4 мм, зворотної конусності (рис. 10.2 (5)), гострих кутів (рис. 10.2 б) та інших форм, що призводять до послаблення пресформ. Необхідно передбачати невеликі майданчики на кінцях скосів і кутів, що дозволить притупити гострі кути на торцях пуансонів. Під час з'єднання поверхонь необхідно передбачати радіус заокруглення не менше ніж 0,25 мм для внутрішніх і не менше ніж 2,5 мм для зовнішніх поверхонь. Закруглені кути сприяють зниженню опору переміщення порошку в порожнини матриці.

Рекомендується замінювати фігурні отвори в деталях круглими (рис. 10.2 (7)), що здешевлює і спрощує конструкцію пресформи. У прямокутних отворах для полегшення переміщення порошку кути виконують закругленими. Замість косокутної насічки необхідно проектувати велику прямокутну, яку легше можна виконати в пресформі.

Потрібно уникати застосування радіальних канавок (рис. 10.2 (8)), виїмок або отворів, розміщених перпендикулярно до осі пресування (рис. 10.2 (9)). Якщо ж такі елементи форми необхідні, то їх потрібно отримувати механічним обробленням різанням після спікання заготовок.

Фланці, розміщені на невеликій відстані від краю циліндра, краще пресувати більш товстими з припуском під обточування після спікання. Різанням обробляють також внутрішнє і зовнішнє різьблення. Виїмки або радіальні канавки, розміщені паралельно осі пресування, можуть бути виконані пресінструментом. Маточини шестерень необхідно виконувати на 2–3 мм менше від діаметра окружності западин (рис. 10.2 (10)). У разі, якщо це можливо, потрібно замінювати криволінійні і непаралельні поверхні паралельними. Це, зокрема, належить до деталей, які раніше виготовляли литтям чи куванням. Залежно від зручності пресування поглиблення і пази

доцільно замінювати виступами (рис. 10.2 (11)) або пази замінювати заглибленнями (рис. 10.2 (12)). З метою полегшення виштовхування заготовок, особливо фланців, із пресформ, їх потрібно виконувати з конусністю $K = 0,007 \cdot \epsilon_{\text{ч}}$, де $\epsilon_{\text{ч}}$ – пружні післядії по діаметру, %.

Під час виготовлення виробів складної форми, в яких важко одержати рівномірний розподіл щільності, частини виробу формуються окремо, а потім їх з'єднують в одне ціле за спікання або просочення легкоплавким металом. Якщо деталь має довгу частину, що виступає, то для збільшення жорсткості її пресують із додатковими ребрами. У таких випадках рекомендується змінити конструкцію деталі, збільшивши товщину частини, що виступає, або наблизивши її до одного з торців деталі (рис. 10.3 а, б, в). Під час пресування заготовок із виступами і виїмками, які оформляють верхнім пуансоном, їх забезпечують конусністю $5\text{--}10^\circ$ для полегшення виштовхування (рис. 10.3 г, г).

Заготовки, рекомендовані для виготовлення найбільш поширеним методом холодного пресування і подальшого спікання, повинні відповідати зазвичай таким вимогам: поперечний переріз – $0,5\text{--}60 \text{ см}^2$, висота – $2\text{--}60 \text{ мм}$, маса не більше ніж $5\text{--}10 \text{ кг}$, відношення довжини до діаметра не більше ніж $2,5\text{--}3$, гострі кути і грані повинні бути закруглені радіусом не менше ніж $0,13 \text{ мм}$, конусність по висоті деталі – не більше ніж $0,008 \text{ мм}$ на 1 мм довжини, точність розмірів некаліброваних деталей – $8\text{--}14\text{-й}$ квалітети, каліброваних – $6\text{--}8\text{-й}$ квалітети, шорсткість поверхні некаліброваних деталей – $R_a = 2,5\text{--}0,63 \text{ мкм}$, каліброваних – $R_a = 0,32\text{--}0,08 \text{ мкм}$.

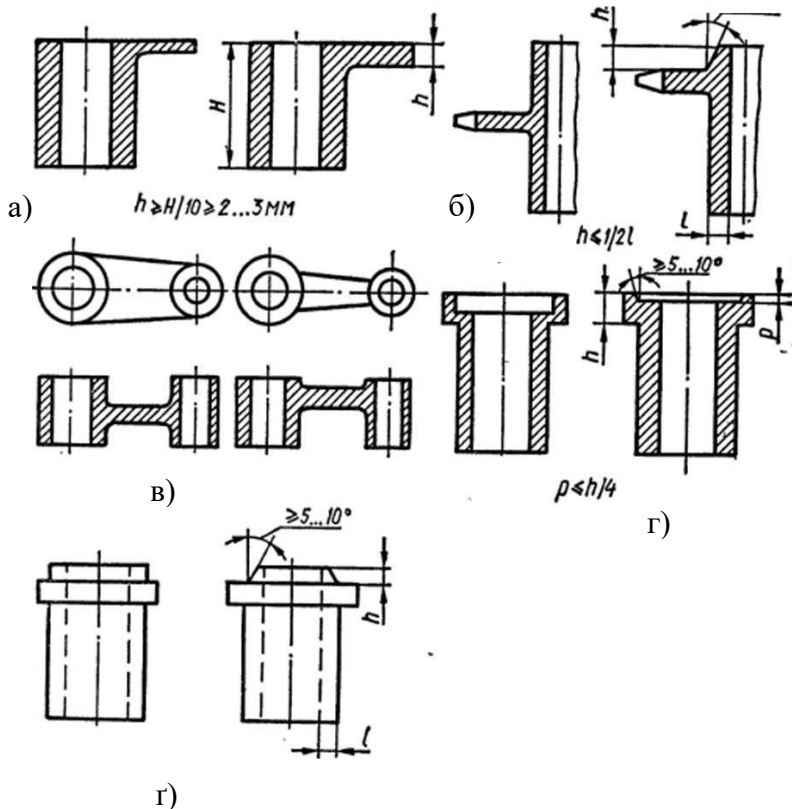


Рисунок 10.3 – Забезпечення технологічності порошкових заготовок із частинами, що виступають, виступами і виїмками: зліва – нетехнологічний варіант, справа – технологічний варіант конструкції заготовки

10.3 Точність заготовок, отримуваних методами порошкової металургії

Під час пресування в закритих пресформах отримують заготовки заданої форми і розмірів. Однак допуски на їх розміри по довжині і поперечному перерізі вищі порівняно з точним механічним обробленням. Точність виготовлення порошкових заготовок залежить від точності преса, пресформ, стабільності пружних післядій за холодного пресування та об'ємних змін під час спікання, зношення пресформ, зростання лінійних розмірів

напівфабрикатів і виробів за зберігання тощо. Пружна післядія залежить від низки технологічних факторів: дисперсності та форми частинок порошку, змісту оксидів, твердості матеріалу частинок, тиску, пресування, наявності мастил та ін. Пружна післядія в заготовках із порошків крихких і твердих матеріалів завжди більша, ніж у виробих із м'яких і пластичних порошків. Воно сильніше проявляється за висотою заготовок (до 5–6 %), ніж за діаметром (не більше ніж 2–3 %). Пружна післядія полегшує зняття заготовок із пуансона за рахунок збільшення охоплювальних розмірів, але перешкоджає їх вилученню з пресформ за наявності будь-яких виступів, ребер тощо.

Точність розмірів холоднопресованих брикетів за ущільнення «за тиском» відповідає для висотних розмірів 12–14-му квалітетам, для діаметральних – 6–8-му квалітетам; за ущільнення з обмежувачем для висотних розмірів точність відповідає 12-му квалітету, для діаметральних – 8–11-му квалітетам. Спікання призводить до зниження точності розмірів на 1–2 квалітети.

Точність геометричної форми і взаємного розміщення поверхонь деталей (круглість, співвісність) практично не залежать від схеми пресування і визначаються переважно точністю пресформ. Тому точність виготовлення пресформ повинна бути на 1 квалітет вище від заданої точності порошкових заготовок.

Розподіл відхилень від номінальних діаметральних розмірів деталей типу втулок за ущільнення «за тиском» підпорядковується нормальному закону, дисперсія якого залежить від точності виготовлення деталей пресформи. Дисперсія нормального закону для співвісності втулок чисельно дорівнює зазору між рухливими деталями пресформ. Під час виготовлення заготовок із точністю за 6–7-м квалітетами для забезпечення їх точності за співвісністю пресформи виготовляють за 3–6-м квалітетами. Водночас рекомендуються такі мінімальні зазори між рухомими елементами: за діаметра виробів 18 мм – 4–14 мкм; 26 мм – 4–18 мкм; 45 мм – 8–26 мкм. Під час використання пресформи з шорсткістю формотвірних

поверхонь $R_a = 2,5-0,02$ мкм досягається шорсткість холоднопресованих брикетів $R_a = 5,0-0,16$ мкм. Шорсткість спечених виробів становить $R_a = 2,5-0,8$ мкм.

Для підвищення точності пористих порошкових заготовок застосовують калібрування обтиском їх після спікання в калібрувальних пресформах за припуску $0,5-1,0$ %. Зусилля під час калібрування становить $10-25$ % від зусилля холодного пресування. Пружне розширення після калібрування досягає $0,1$ %. Відхилення діаметральних розмірів каліброваних виробів від відповідних розмірів матриці або стрижня калібрувальної пресформи не перевищує $5-10$ мкм.

Калібрування зазнають зовнішні та внутрішні поверхні заготовок. Калібрувальний припуск устанавлюють таким чином, щоб ступінь ущільнення не перевищувала 3 %. Причому для зовнішніх поверхонь призначають більший припуск, ніж для внутрішніх, особливо за необхідності зберегти на них виходи пор. Середній припуск для зовнішнього діаметра втулок із залізографіту пористістю $15-30$ % становить $0,8-1,2$ % від діаметра, для втулок із заліза – $0,8-1,4$ %.

Контрольні питання

1 Які переваги має виробництво заготовок методами порошкової металургії?

2 На які види поділяють порошкові конструкційні матеріали залежно від умов експлуатації?

3 Які вимоги необхідно витримати під час конструювання заготовок із порошкових матеріалів?

4 Які фактори впливають на точність заготовок і деталей, одержуваних методами порошкової металургії?

РОЗДІЛ 11 ЗАГОТОВКИ З ПЛАСТМАС

11.1 Пластмаси, їх властивості та сфери застосування

Пластмаси мають низку цінних якостей, завдяки яким їх питома вага в машинобудуванні має тенденцію до зростання. Як конструкційні матеріали пластмаси покрили близько 15 % дефіциту в металах.

До основних експлуатаційних переваг пластмас відносять: малу щільність, високу демпфірувальну здатність, порівняно високу стійкість до агресивних середовищ, високі електро-, тепло-, звукоізоляційні, фрикційні та інші властивості.

До технологічних переваг пластмас відносять:

- простоту і легкість отримання заготовок складної форми за невисоких (порівняно з металами) температур формоутворення;

- технологічну простоту армування пластмасових деталей металевими елементами;

- високу точність одержуваних розмірів, яка не потребує у багатьох випадках механічного оброблення;

- відмінну оброблюваність різанням за порівняно низьких енерговитрат.

У той самий час пластмаси мають досить істотні недоліки:

- знижені механічні характеристики, зокрема, контактної міцності (сталеві зубчасті передачі, здатні відчувати в 3–3,5 рази більші контактні напруження, ніж пластмасові);

- невисокий температурний режим експлуатації і більш вузький його діапазон;

- обмеженість у розмірах, обумовлена неможливістю виготовити пресформу величезних розмірів;

- високу вартість, що в 3–5 разів перевищує вартість чорних металів.

За поведінкою під час нагрівання пластмаси поділяють на дві основних групи: термореактивні (реактопласти) і термопластичні (термопласти).

Реактопласти під час нагрівання спочатку переходять у в'язкотекучий стан, а потім перетворюються на необоротні, неплавкі і нерозчинні речовини. На відміну від них термопласти під час нагрівання та охолодження здатні багаторазово переходити з твердого стану у в'язкотекучий і навпаки, тобто змінюються оборотно.

Як термореактивні, так і термопластичні пластмаси мають безліч різних назв і марок, що відрізняються за своїми фізичними, механічними, технологічними та експлуатаційними властивостями.

Незважаючи на властиві недоліки, з пластмас виготовляють доволі велику номенклатуру деталей: зубчасті колеса, зірочки, штурвали, важелі, корпуси, кронштейни, втулки, кришки, ковпаки, кріпильні та інші деталі. Особливо висока питома вага пластмасових деталей у побутовій та декоративній техніці, під час виготовлення дитячих іграшок тощо.

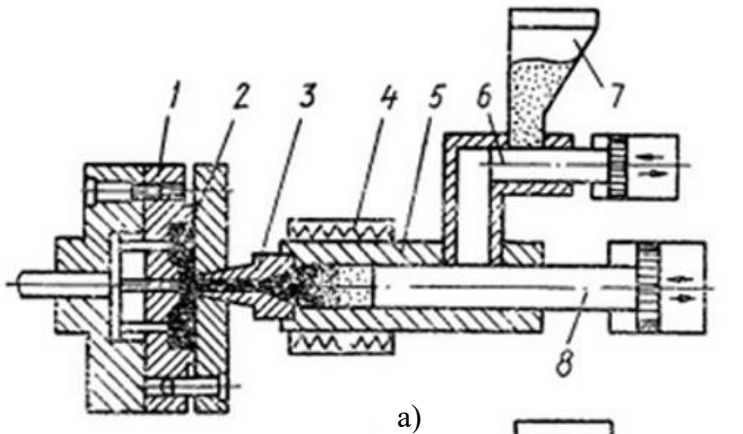
11.2 Способи виготовлення заготовок із пластмас

Існує кілька способів виготовлення заготовок із пластмас. Оскільки всі вони вимагають дорогої, спеціального оснащення (пресформ), то сферою їх застосування є серійне і масове виробництво.

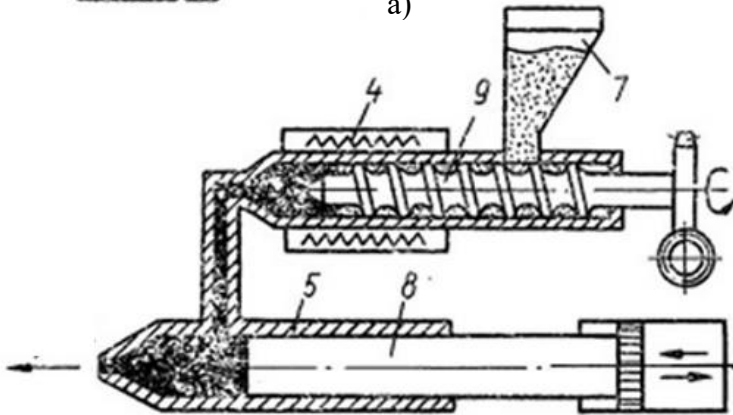
Розглянемо коротку характеристику цих способів.

Лиття під тиском є найбільш продуктивним способом отримання деталей із пластмас. Використовують у масовому виробництві заготовок простої та складної конфігурації.

Цей процес відбувається на спеціальних машинах, призначених для розплавлення пластмаси і подання її поршнем або шнеком під тиском 50–250 МПа в закриту охолоджувану пресформу, під час розкриття якої виріб автоматично виштовхується. Застосовувані при цьому способі ливарні автоматизовані машини можуть працювати без попередньої пластифікації (рис. 11.1 а) та з попередньою пластифікацією вихідного матеріалу (рис. 11.1 б). Пресформи для лиття під тиском можуть бути одно- і багатомісними.



а)



б)

Рисунок 11.1 – Схеми дозувального та пресувального пристроїв машин для лиття під тиском без попередньої (а) і з попередньою (б) пластифікацією: 1 – пресформа; 2 – виріб; 3 – сопло; 4 – електронагрівальний пристрій; 5 – ливарний циліндр; 6 – дозувальний плунжер; 7 – бункер; 8 – плунжер ливарного циліндра; 9 – пластифікаційний шнек

Вихідним матеріалом за цього способу виготовлення заготовок є термопласти: поліамід, поліетилен, капрон, етрол, полістирол, поліпропілен, поліформальдегід, поліуретан, поліхлорвініл.

Подання матеріалу здійснюється в пресформу, підігріту до температури 40–80 °С. Для прискорення процесу затвердіння в конструкції пресформи зазвичай передбачають водяне охолодження. Максимальний об'єм виливки, одержуваної під тиском, 1 200 см³.

Пряме (компресійне) пресування застосовують для виробництва заготовок дрібних і середніх розмірів та здійснюється на гідравлічних пресах зусиллям 100–10 000 кН з гідравлічним виштовхуванням. Пресування можуть проводити в закритих і відкритих пресформах.

Пресування в закритих пресформах здійснюють із підігріванням останніх до 130–180 °С. Пресформа (рис. 11.2 а) має завантажувальну камеру і пуансон, за допомогою якого на пластичний матеріал передається тиск 15–16 МПа.

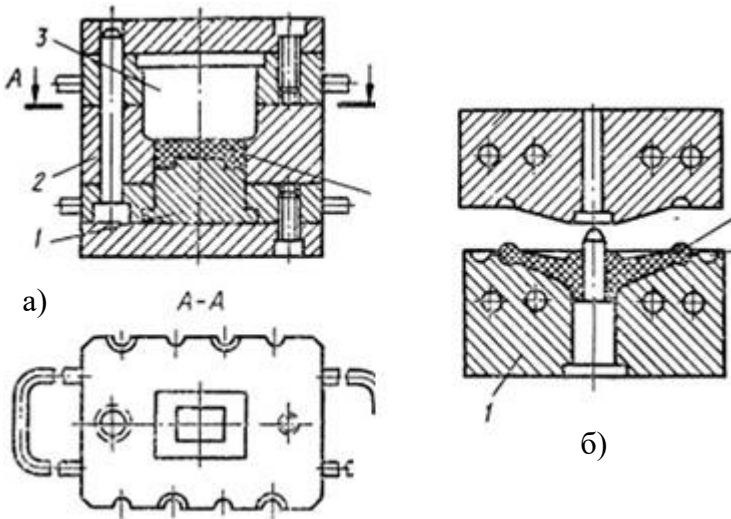


Рисунок 11.2 – Знімні пресформи для прямого пресування:
 а) закрыта; б) відкрита: 1 – матриця; 2 – рухома матриця;
 3 – пуансон; 4 – виріб; 5 – надлишок матеріалу

Пресування у відкритих пресформах застосовують для невисоких заготовок (рис. 11.2 б). У цьому разі заготовки оформляють в матриці та пуансоні. Надлишок матеріалу

віджимається по площині рознімання і є відходом. Пресформи можуть бути знімними і стаціонарними, обігрівальними та водоохолоджувальними.

Як матеріал під час пресування застосовують термопласти без наповнювача, а також реактопласти (порошкоподібні, волокнисті і шаруваті). Заготовки, отримані литтям під тиском і пресуванням, мають гладку поверхню, точні розміри і поверхню, не вимагають подальшого механічного оброблення.

Ливарне пресування використовують для виробництва заготовок складної конфігурації з локальними потовщеннями, з більш тонкими перетинами і більш глибокими отворами, ніж у заготовок, виготовлених прямим пресуванням. Вихідним матеріалом за цього способу є прес-порошки, волокніти і термореактивні матеріали з порошковими і дрібноволокнистими наповнювачами.

Існує два різновиди ливарного пресування: з верхньою і нижньою заливкою. Під час пресування з верхньою заливкою закриття завантажувальної камери і заливка матеріалу в порожнину матриці відбуваються за опускання пуансона. Цей різновид лиття застосовують для виробів, що вимагають рознімання матриці під час їх видалення (рис. 11.3 а). Його здійснюють в обігрівальних пресформах зі знімними матрицями на гідравлічних пресах. Під час пресування з нижньою заливкою закриття пресформи відбувається за опускання верхнього поршня, а заливка матеріалу, розплавленого в завантажувальній камері, здійснюється за підняття нижнього виштовхувального поршня (рис. 11.3 б). Водночас використовують стаціонарні обігрівальні пресформи, встановлені на гідравлічні преси з верхнім і нижнім тиском одночасно.

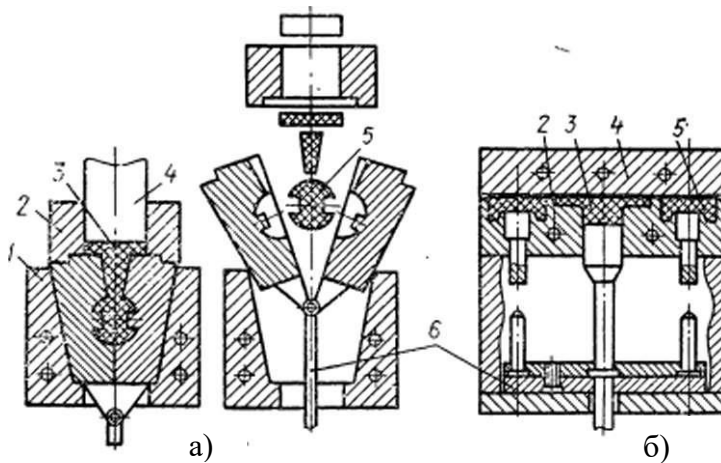


Рисунок 11.3 – Пресформи для ливарного пресування з верхньою (а) і нижньою (б) завантажувальною камерою:
 1 – корпус; 2 – матриці; 3 – завантажувальна камера;
 4 – пуансон; 5 – виріб; 6 – виштовхувальна система

Дуттьове (пневматичне) формування використовують для виробництва заготовок відкритого типу (кришки, контейнери, корита тощо) з листових термопластів товщиною 1,5–4 мм. Як вихідні матеріали використовують, наприклад, оргскло, вініпласт, поліетилен, полістирол. Розрізняють негативне і позитивне пневматичне формування.

Негативне формування здійснюють тиском стисненого повітря на попередньо розігрітий до розм'якшення листовий матеріал, покладений на форму-матрицю (рис. 11.4 а). Заготовка набирає форми матриці за допомогою стисненого повітря. Для заготовок типу сфер формування може здійснюватися без матриці.

Процес здійснюється на столі, обладнаному пристроєм для обігрівання.

Позитивне формування застосовують для глибокого витягування, яке здійснюють пуансоном із подальшим роздуванням стисненим повітрям, що подається через пуансон. Здійснюють на столі з поворотною плитою обігріву та

пневматичним пресом. Як оснащення застосовують формуматрицю з притискним пуансоном (рис. 11.4 б).

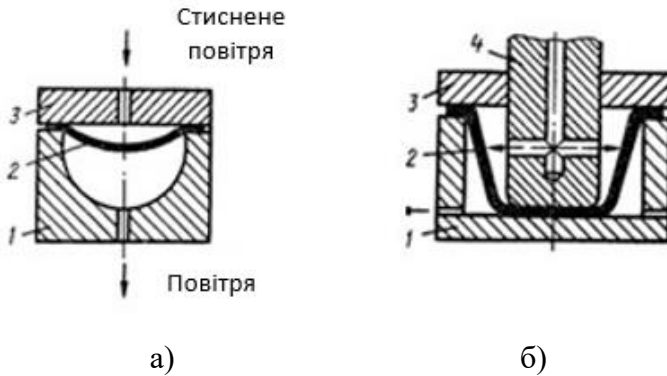


Рисунок 11.4 – Схема дуттьового формування:
а) негативного; б) позитивного; 1 – матриця; 2 – заготовка в процесі формування; 3 – притискна плита; 4 – пуансон

Вакуумне формування використовують для неглибокої витяжки великогабаритних заготовок панельного типу. Виріб формується вакуумним усмоктуванням попередньо розм'якшеного листа в матрицю, а виштовхується стисненим повітрям. Вихідний матеріал – листовий термопласт товщиною 1,5–3 мм.

Формування здійснюється на вакуум-формувальних машинах у комплексі з компресором, вакуум-насосом, термоекраном для підігрівання вихідної заготовки і спеціальною вакуумною формою (рис. 11.5).

Комбіноване формування є одночасно негативним і позитивним. Застосовують для виробів складної конфігурації, а також за глибокої витяжки. Початковий матеріал – листовий термопласт товщиною 2–4 мм. Формування здійснюється на спеціальних машинах, оснащених опокою з притискним кільцем і пуансоном для позитивного формування.

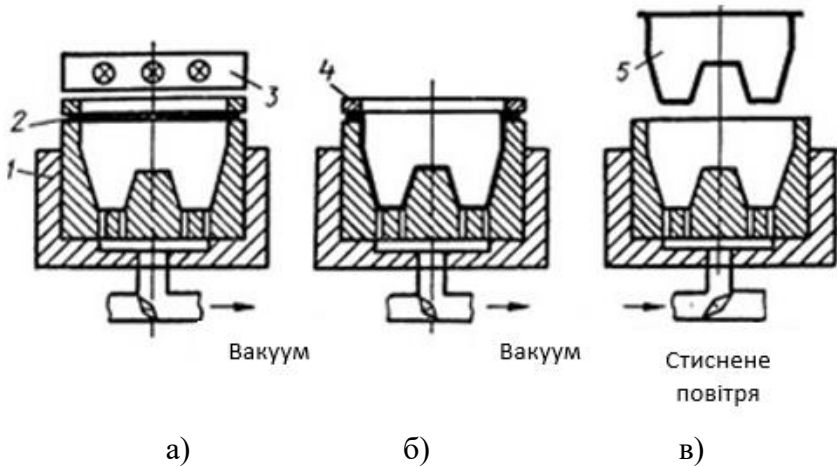


Рисунок 11.5 – Схема вакуумного формування:
 а) розігрів матеріалу; б) відсмоктування повітря;
 в) виштовхування виробу стисненим повітрям;
 1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – плита розігріву;
 4 – притискна плита; 5 – деталь

Екструзію (видавлювання) використовують для виробництва профільної заготовки необмеженої довжини, а також для нанесення пластмасової ізоляції на дрiт. Здійснюється на різного типу шнекових екструзійних машинах.

Окрім перелічених специфічних операцій заготовки з реактопластів і термопластів товщиною до 6,5 мм можна отримувати штампуванням (вирубання, гнуття, відбортання, пробивання отворів тощо). Штампування пластмас вимагає попереднього підігрівання вихідної заготовки і здійснюється на гідравлічних і механічних пресах, обладнаних штампами, пристосуваннями для нагрівання, гнуття і відбортання.

Іноді для створення досить складних пластмасових заготовок (наприклад, корпусних деталей) вдаються до поелементного створення заготовки одним із вищеперелічених способів із подальшим зварюванням складових частин, що здійснюється за допомогою спеціальних нагрівальних пристроїв.

11.3 Проектування заготовок із пластмас

Проектування заготовок із пластмас і відпрацювання на технологічність обумовлені здатністю останніх заповнювати порожнини пресформи і вилучатися з них після затвердіння. Тому конструктор повинен знати основні рекомендації, вироблені практикою, з оформлення товщини стінок, радіусів заокруглень, зовнішніх і внутрішніх поверхонь, дрібних конструктивних елементів типу потовщень, полегшень, отворів, різьблень тощо, які зазвичай впливають із можливостей технології.

Товщина стінок. Під час проектування пластмасових заготовок необхідно забезпечити їх рівностінність. На рисунку 11.6 наведені приклади створення рівностінних заготовок за рахунок ліквідації локальних потовщень і зниження товщини стінок.

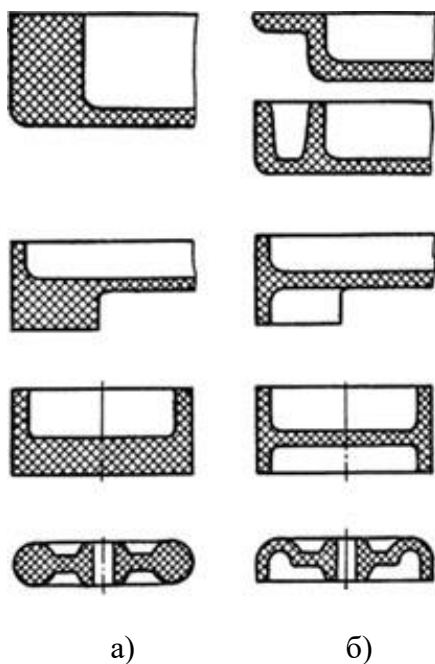


Рисунок 11.6 – Приклади усунення локальних потовщень на технологічних (а) і нетехнологічних (б) конструкціях

Зі збільшенням товщини стінок зростає тривалість витримки і небезпека викривлення в процесі пресування. Під час лиття під тиском у товстих перерізах утворюється повітряна і усадкова пористість. Рекомендовані товщини стінок наведені в таблиці 11.1. Під час пресування малогабаритних заготовок зі скловолокнистих матеріалів і лиття під тиском поліамідів товщину стінок можна зменшити до 0,3 мм, оскільки ці матеріали мають підвищені механічні властивості.

Таблиця 11.1 – Товщина стінок пластмасових заготовок, мм

Матеріал	Габаритні розміри деталі, мм				
	до 20	20–50	50–100	100–250	більше
Преспорошки:					
– 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 пресматеріали	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

Міцність і жорсткість деталей рекомендується підвищувати застосуванням ребер жорсткості (рис. 11.7 а, б), товщина яких у найбільшому перерізі не повинна перевищувати товщину δ стінки (рис. 11.7 в). Для круглих деталей не рекомендують концентричні та суцільні радіальні ребра жорсткості, оскільки вони перешкоджають усадці.

Радіуси заокруглень у місцях з'єднання поверхонь покращують заповнюваність пресформ і зовнішній вигляд деталей. Гострі кромки допускаються лише на поверхнях, за якими проходить площина рознімання пресформи. Після зачищення задирок на цих крайках утворюються фаски величиною 0,2–0,3 мм.

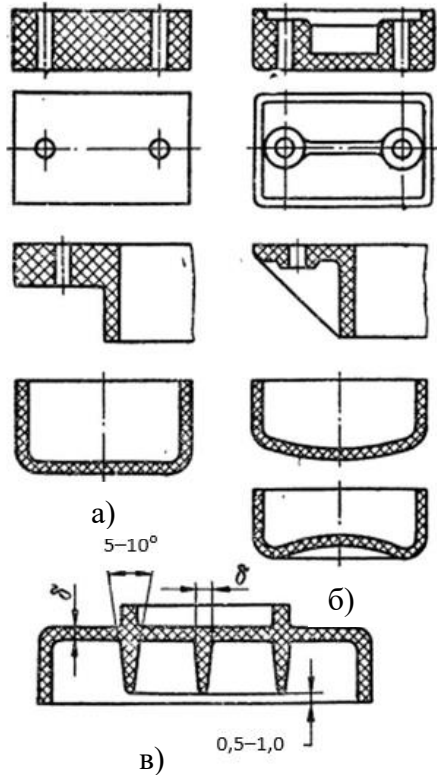


Рисунок 11.7 – Підвищення міцності деталей за допомогою ребер жорсткості: а), б) нетехнологічні й технологічні конструкції; в) рекомендована конфігурація перерізу ребер жорсткості

Міцність корпусних деталей підвищується за плавного потовщення стінок у місцях заокруглення (рис. 11.8), яке досягається з'єднанням зовнішніх та внутрішніх поверхонь рівними радіусами R зі зміщеним центром. Радіус R повинен бути більшим від половини товщини стінки δ . Для термореактивних матеріалів мінімально допустиме значення радіуса заокруглення – 0,5 мм, для термопластичних матеріалів із підвищеною в'язкістю типу полістиролу або поліметилметакрилату допустимо 0,8 мм.

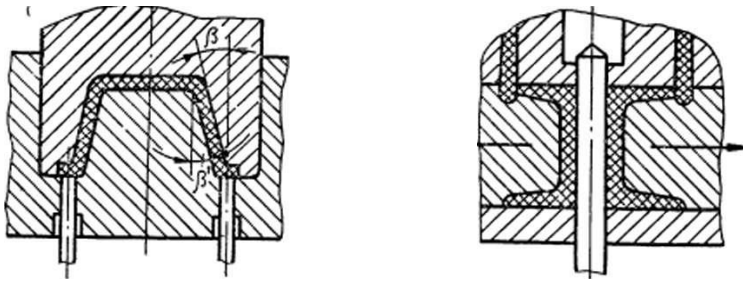


Рисунок 11.9 – Розміщення технологічних уклонів залежно від напрямку рознімання пресформи

Таблиця 11.2 – Рекомендовані ухили для різних поверхонь пластмасових заготовок

Поверхня	Заготовка	
	спряжена та тонкостінна	інша
Зовнішні	15°	30°–1°
Внутрішні	30°	1°–2°
Отвори глибиною до 1,5 d	15°	30°–45°
Ребра жорсткості, виступи, бобишки тощо	2°, 3°, 5°, 10°	

Оформлення поверхонь. На бічних поверхнях пластмасових деталей неприпустимі піднутрення, що перешкоджають розніманню пресформи і вилучення виробів (рис. 11.10 а). Бобишки на зовнішніх бокових поверхнях (рис. 11.10 б) допустимі лише за додаткового вертикального рознімання, що значно ускладнює конструкцію пресформи. Приклади усунення піднутрень і виступів показані на рисунку 11.10 в.

Опорні поверхні рекомендується замінювати опорними площадками, бортиками, виступами по периметру (рис. 11.11), що підвищують жорсткість деталей, знижує їх викривлення і сприяє щільному приляганню з'єднаних поверхонь.

З метою полегшення видалення задирки необхідно зменшувати кількість площин рознімання і розмістити лінію утворення задирки на ділянках простої конфігурації.

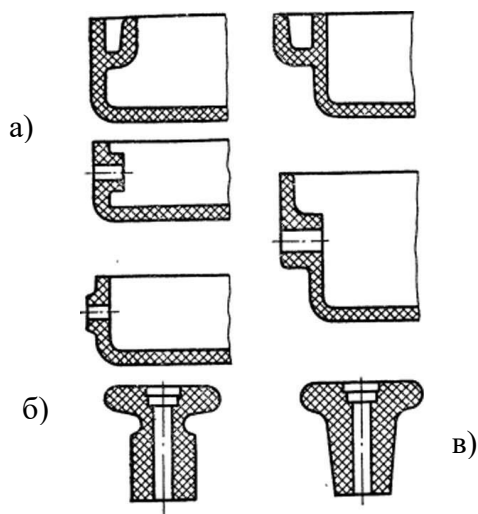


Рисунок 11.10 – Приклади ліквідації зовнішніх і внутрішніх піднутрень: а), б) нетехнологічні конструкції; в) технологічні конструкції

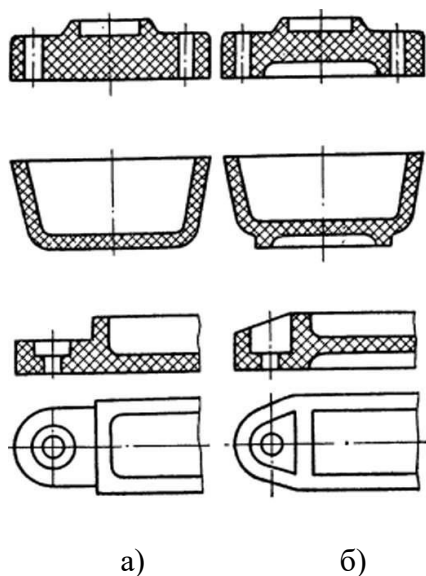


Рисунок 11.11 – Оформлення опорних поверхонь нетехнологічних (а) і технологічних (б) конструкцій

Отвори. Розміри отворів у пластмасових заготовках назначають так само, як і для металевих виробів. Водночас необхідно враховувати можливість появи напружень унаслідок утрудненої усадки. Допустима глибина отвору залежить від методу виготовлення деталей (табл. 11.3). Рекомендовані мінімальні значення діаметра отвору d_{\min} за глибини $h \leq 2d$ для поліамідів становлять 0,5 мм; інших термопластів – 0,8 мм; скловолокнитів – 1,0 мм; преспорошків – 1,5 мм; текстолітів – 2,5 мм.

Таблиця 11.3 – Граничні відношення h/d залежно від методу виготовлення заготовок

Діаметр отвору < 1 мм	Пряме пресування		Ливарне пресування і лиття під тиском	
	Отвори			
	наскрізні	глухі	наскрізні	глухі
До 3	2,5	1,2	5	2
Від 3 до 6	3	1,3	6	2,5
Від 6 до 10	4	1,4	8	3
Від 10	5	1,5	10	4

Примітка: h – глибина; d – діаметр отвору

Різь. Пресуванням і литтям можна виготовити нарізні елементи деталей, які не потребують подальшого механічного оброблення. Не рекомендується для пластмасових деталей прямокутні різі та різі з кроком менше ніж 0,4 мм унаслідок їх недостатньої міцності. Мінімум допустимий діаметр різі для заготовок із термопластів і волокнистих пресматеріалів – 2 мм, а для деталей із преспорошків – 3 мм. Бажано, щоб довжина різі не перевищувала двох її діаметрів.

У пластмасових заготовках із різями різних діаметрів рекомендується брати однаковий крок різьблення з метою спрощення конструкції пресформи.

Армування пластмас металевими елементами значно підвищує сферу застосування пластмасових виробів.

Найбільш поширена арматура: штифтова (гладкі та нарізні шпильки, гвинти), втулкова (гладкі та нарізні втулки), плоска (пелюстки, контакти) і дротяна (рис. 11.13 а).

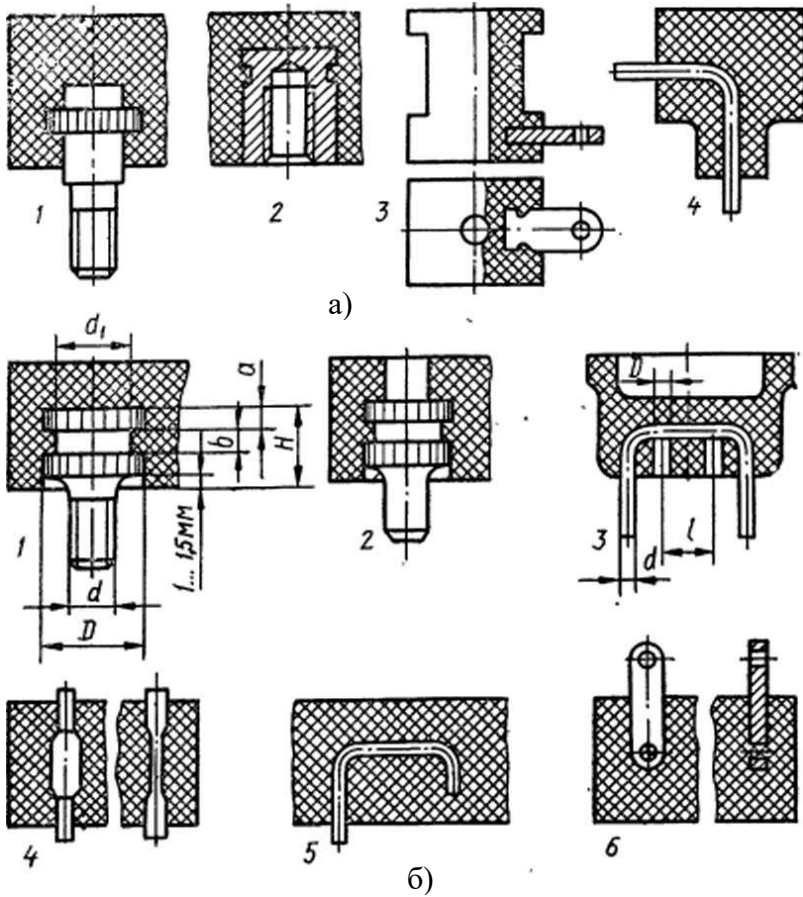


Рисунок 11.13 – Арматура і способи її закріплення:
 а) типи арматури: 1 – штифтова; 2 – втулкова; 3 – плоска;
 4 – дротяна; б) кріплення арматури: 1 – накатка і кільцева
 виточка; 2 і 3 – фіксація штифтової і дротяної арматури через
 технологічні отвори; 4 і 5 – розплющення і загинання дротяної
 арматури; 6 – кріплення пелюсток

Для попередження повертання або виривання з виробів на штифтовій арматурі роблять накатку і кільцеві виточки (рис. 11.13 б (1, 2)), на плоскій – отвори або вирізи (рис. 11.13 б (6)), на дротяній – розплющення або вигин арматури (рис. 11.13 б (3, 4, 5)).

Щоб попередити виникнення тріщин, переріз металевої арматури повинен бути невеликим порівняно з перерізом пластмаси і розміщуватися симетрично щодо останнього. Арматура не повинна перебувати близько до краю або до поверхні заготовки, щоб уникнути появи здуття пластмаси.

Написи і малюнки на пластмасових заготовках необхідно робити опуклими, що спрощує виготовлення пресформи. З метою усунення викришування висота шрифту або малюнка не повинна перевищувати 0,2 мм. Якщо потрібно збільшити висоту шрифту, надпис утоплюється нижче від поверхні заготовки.

11.4 Точність, шорсткість і припуски на оброблення заготовок із пластмас

Точність розмірів заготовок із пластмас залежить від усадкової деформації і розмірної стабільності матеріалу. Оцінюючи точність розмірів заготовок із пластмас, необхідно враховувати додатково вплив технологічних ухилів, які можуть призначатися на поверхні заготовки, паралельні напрямленню замикання форми.

Точність для розмірів елементів заготовок, оформлюваних в одній частині форми, може перебувати в межах 7–17 квалітетів. Водночас найбільш висока точність досягається у дрібних заготовок (1–50 мм), виготовлених із матеріалів із мінімальним коливанням усадки (до 0,1 %) і нульовим технологічним ухилом.

Допуски і посадки на гладкі деталі з пластмас розмірами 1–500 мм, що з'єднуються з металевими або пластмасовими деталями, регламентовані стандартами. Водночас необхідно пам'ятати, що граничні відхилення і допуски встановлені для деталей, що працюють за температури 20 °С і відносної

вологості повітря 65 %. Пластмаси, порівняно з металами, відрізняються більшою розмірною чутливістю. Тому експлуатація пластмасових з'єднань в умовах значних перепадів температур є небажаною.

Шорсткість поверхні пластмасових заготовок залежить від якості оброблення пресформ, виду наповнювача і технологічних режимів формування. Параметр шорсткості поверхні заготовок, виготовлених литтям під тиском і пресуванням, відповідає $Ra = 0,32-1,25$ мкм, а в окремих випадках досягає $Ra = 0,08-0,32$ мкм. На шорсткість поверхні значною мірою впливає зношення елементів пресформи.

За механічного оброблення якості поверхні пластмасових виробів погіршується. Параметр шорсткості поверхонь, оброблених різальним інструментом, зазвичай відповідає $Rz = 40-20$ мкм, його визначають кресленням.

Якщо на робочих поверхнях деталі необхідну точність отримати неможливо або економічно недоцільно, то на такі поверхні повинні бути залишені припуски, які залежать від оброблюваного матеріалу, форми і розмірів заготовки. Орієнтовні межі значень припусків для різних матеріалів коливаються в межах: під час точіння – 0,1–2,5; фрезерування – 1–4, шліфування – 0,5–0,4 мм.

11.5 Методи з'єднання пластмас

Одним з основних методів нерознімного з'єднання пластмас є зварювання. Зварювання виконують переведенням з'єднуваних деталей у в'язкотекучий стан, за якого макромолекули мають підвищену рухливість, і подальшого здавлювання місця з'єднання певним зусиллям. Водночас відбувається взаємна дифузія макромолекул або їх частин, за рахунок цього після охолодження здійснюється з'єднання деталей. Міцність з'єднання визначається силами міжатомної і міжмолекулярної взаємодії.

Під час зварювання досягаються однаковий склад і властивості в місці з'єднання, забезпечується герметичність

шва. Процес зварювання може бути механізований і автоматизований.

До недоліків зварних з'єднань необхідно віднести порівняно низьку міцність швів за розшарувальних навантажень, важкості з'єднання різнорідних матеріалів і нерознімність з'єднання.

Основними параметрами дифузійного зварювання є температура, тривалість нагріву матеріалу і тиск на зварювані деталі. Тривалість нагрівання пластмас в усіх випадках повинна бути мінімальною, щоб уникнути деструкції матеріалу. З тієї самої причини не рекомендується багаторазове повторення зварювання. Унаслідок низького коефіцієнта теплопровідності в звареному шві виникають залишкові напруження, для видалення яких необхідно застосовувати повільне охолодження або відпал звареного виробу.

Існують такі основні методи зварювання термопластів: газове, нагрітим інструментом, нагрітим присадковим матеріалом, струмом високої частоти, ультразвукове, тертям, із застосуванням інфрачервоного випромінювання, лазерне. Перелічені методи відрізняються один від одного способом розігрівання з'єднуваних поверхонь.

За *газового* зварювання основним інструментом є газовий пальник. У газовому пальнику з електричним підігрівом газ проходить через електричний нагрівальний елемент, у пальнику з газовим підігрівом теплоносії проходить по змійовику, який нагрівається за згоряння горючого газу. Крім того, існують газові пальники прямого нагрівання, у яких теплоносії надходить у камеру згоряння і там нагрівається.

Як теплоносії найчастіше використовують повітря, для матеріалів, схильних до термоокиснюваної деструкції – інертні гази (азот, аргон). За допомогою теплоносія здійснюється розігрівання з'єднуваних поверхонь. Температура теплоносія на виході з пальника повинна бути на 50–100 °С вище, ніж температура плинності термопласту. Зварювання можна здійснювати з присадним матеріалом (рис. 11.14) і без нього. Найбільш часто використовують зварювання з присадним

матеріалом. Присадний матеріал у вигляді прутків діаметром 1,5–4 мм виготовляють із того самого матеріалу, що й зварюваний виріб, але для підвищення пластичності в його склад вводять пластифікатор. Зусилля, яке чиниться рукою на присадний матеріал, становить 10–40 Н.

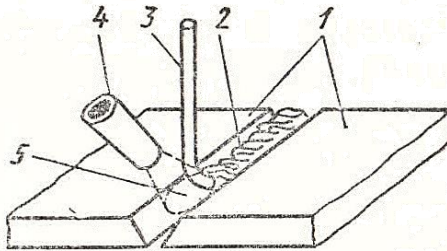


Рисунок 11.14 – Газове зварювання з присадковим матеріалом:
1 – зварювані деталі; 2 – зварний шов; 3 – пруток присадкового матеріалу; 4 – накінецьник газової горілки;
5 – зона нагрівання

Газовим зварюванням із присадним матеріалом з'єднують товстостінні деталі з полівінілхлориду, поліетилену, органічного скла, полістиролу, капрону, поліформальдегіду.

Зварювання нагрітим газом із присадним матеріалом використовують під час футерування травильних ванн, стикування труб, листів лінолеуму, виготовлення баків акумуляторів тощо. Недоліками цього методу є низька продуктивність і труднощі підтримки основних параметрів технологічного процесу зварювання.

Під час зварювання *нагрітим інструментом* з'єднуювані деталі нагріваються за контакту з гарячими металевими стрічками, дисками, пластинками, затискувачами преса тощо. Спосіб застосовується для зварювання товстостінних виробів (труби, плити, профілі та ін.) і для плівок.

Під час зварювання товстостінних виробів інструмент після прогрівання деталі видаляють, з'єднувані поверхні

приводять до контакту і шов охолоджують під тиском. Для виробу з поліетилену високого тиску температура на поверхні нагрівача становить (180 ± 10) °С, час нагрівання – (45 ± 15) с, тиск під час нагрівання – 0,05 МПа, тиск за з'єднання поверхонь – 0,1 МПа.

Зварювання нагрітим інструментом широко використовують для з'єднання плівок поліолефінів товщиною 20–250 мкм. Водночас використовують малоінерційний нагрівач (стрічку або дріт), через який періодично пропускають електричний струм. Під час від'єднання струму зварний шов швидко охолоджується. Плівку водночас затискають між губками спеціального пристрою.

Зварювання *нагрітим присадним матеріалом* полягає в тому, що присадний матеріал у пластичному стані подається з нагрівального пристрою, наприклад екструдера, на з'єднувані поверхні і сплавляється з ними. Після охолодження виходить однорідна структура, яка забезпечує високу міцність шва. Спосіб забезпечує високу продуктивність, його використовують переважно для з'єднання плівок і тонколистових матеріалів. В окремих випадках, коли потрібно отримати короткі стикові шви, наприклад, під час футерування резервуарів, застосовують екструзійний пістолет.

Зварювання *струмом високої частоти* ґрунтується на розігріванні полімерів під час проходження через них змінного електричного струму. Цей спосіб використовують переважно для полярних полімерних матеріалів (полівінілхлориду, капрону тощо), які мають дипольну поляризацію за розміщення їх в електричному полі (рис. 11.15). У змінному електричному полі відбувається переполяризація відповідно до умов змінюваного знака заряду на електроді.

Енергія, витрачена на переполяризацію, перетворюється на теплоту, за рахунок цього здійснюється розігрівання з'єднуваних виробів. Через електроди одночасно передається тиск, вони ж охолоджують зварювані поверхні. Такий спосіб забезпечує високу швидкість і рівномірність нагріву.

Під час зварювання струмами високої частоти можна точно відрегулювати основні параметри технологічного процесу, що гарантує високу якість зварного шва.

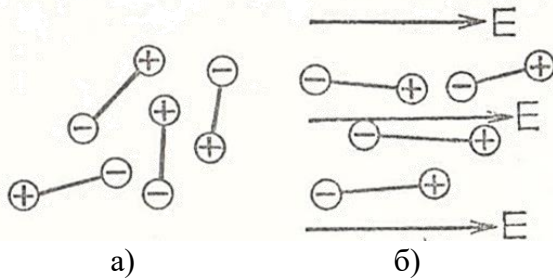


Рисунок 11.15 – Схема розміщення диполів полярного полімерного матеріалу: а) до розміщення матеріалу в електричне поле; б) після розміщення матеріалу в електричне поле

За необхідності зварювання таким способом неполярних матеріалів між електродами і зварюваними поверхнями необхідно помістити полярний матеріал, за рахунок нагрівання якого і відбудеться розігрівання зварюваного неполярного матеріалу. Високочастотні зварювальні установки забезпечують роботу за частоти електричного струму 27 і 41 МГц. З огляду на дороге устаткування зварювання СВЧ краще застосовувати за серійного виробництва деталей.

За *ультразвукового* зварювання розігрівання з'єднаних поверхонь відбувається в результаті пластичних деформацій матеріалу під впливом ультразвукових коливань інструменту. Схема установки для зварювання ультразвуком показана на рисунку 11.16. Струми високої частоти подаються на обмотку вібратора 1, сердечник якого виконано з магніострикційного матеріалу. Лінійні розміри магніострикційного матеріалу змінюються залежно від змін магнітного поля, що виникає під час проходження струму по обмотці. Сердечник з'єднаний із хвилеводом 2, який впливає на зварювані деталі.

Процес зварювання займає 1–8 с. Якість зварювального шва висока. Цим способом можна зварювати різномірні матеріали, різнотовщинні вироби за рахунок локального

розігрівання з'єднаних поверхонь, а також забруднені матеріали, оскільки всі сторонні частинки видаляються із зони шва за рахунок коливань. Можливе здійснення зварювання ультразвуком у важкодоступних місцях.

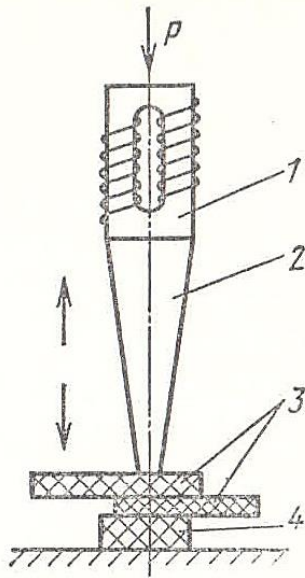


Рисунок 11.16 – Схема ультразвукового зварювання пластмас:
1 – вібратор; 2 – хвилевід; 3 – зварювані деталі;
4 – відбивач

Ультразвуковий метод широко використовують для зварювання поліетилентерефталатних плівок товщиною 20–40 мкм за режиму: амплітуда зміщення робочого кінця інструменту – 25–30 мкм, зусилля притиску – 12 Н, частота – 50 кГц. Зварювання ультразвуком можна застосовувати для поліетилену, вініпласту, полістиролу, органічного скла, поліамідів.

Зварювання *тертям* ґрунтується на перетворенні механічної енергії на теплову за тертя нерухомої деталі та деталі, що обертається. Оскільки термопласти мають низьку

теплопровідність, теплота концентрується біля місця контакту деталей. Для здійснення зварювання тертям використовують токарні або свердлильні верстати. Міцність з'єднання, одержаного за оптимальних режимів, близька до міцності зварюваного матеріалу. Для поліетилену високого тиску рекомендується швидкість обертання 90–120 м/хв, тиск – 0,2–0,5 МПа. Але нерідко шов має пористу структуру і небажані потовщення від стиснення зварюваних деталей.

Зварювання із застосуванням *інфрачервоного випромінювання* ґрунтується на нагріванні поверхонь, з'єднуваних за рахунок поглинання ІЧ-випромінювання. Більшість полімерів поглинають ІЧ-випромінювання за довжини хвилі більше ніж 2,5 мкм. Як джерело ІЧ-випромінювання використовують кварцові лампи, силітові стрижні, ніхромові сплави.

За *лазерного* зварювання розігрівання з'єднуваних поверхонь здійснюється променем лазера, сфокусованим у пляму діаметром близько 1 мм, який спрямований перпендикулярно до зварюваного пакета. Лазерне зварювання застосовують для з'єднання плівки товщиною 12–500 мкм. Потужні лазери дозволяють зварювати листи товщиною до 250 мм.

Іншим методом нерознімного з'єднання матеріалів є *склеювання*, що має низку переваг: склеювання можливе для різнорідних матеріалів, наприклад «метал – пластмаса», «метал – кераміка» та ін.

Цей метод ефективно використовують у промисловості, наприклад, для з'єднання фрикційних накладок до тормозних колодок легкових автомобілів. За допомогою склеювання досягається гладкість з'єднання в конструкціях літальних апаратів, що підвищує їх аеродинамічні якості. Легкі стільникові наповнювачі надійно склеюються з листами обшивки різних елементів літаків, у результаті цього досягається збільшення їх жорсткості.

Використання комбінованого з'єднання – склеювання і точкове зварювання в конструкції кабіни вантажного

автомобіля марки ЗІЛ дає можливість подовжити термін служби виробу за рахунок більшої корозійної стійкості.

До недоліків клейових з'єднань можна віднести невисоку теплостійкість, старіння клею і знижений опір відриву за нерівномірної деформації.

Міцність з'єднання залежить від підготовки поверхні, природи матеріалів, дотримання технологічного процесу, а також від адгезії і когезії клею. *Адгезія* – це прилипання клею до матеріалу, *когезія* – зчеплення молекул всередині клейового шару за рахунок сил тяжіння. Адгезія – це складне явище, і на цей час немає єдиної теорії, що пояснює її природу. Адгезія може бути результатом затікання клею в пори і тріщини матеріалу, вона може досягатися за рахунок дифузії молекул, появи хімічної взаємодії, сил тяжіння між різноіменно зарядженими поверхнями тощо.

За своєю природою клеї можна розділити на тваринні, неорганічні і синтетичні. Тваринні клеї – це продукти перероблення шкіри і кісток тварин, луски і кісток риб, а також молока. Їх застосовують для склеювання паперу, тканини й дерева. Неорганічні клеї – це водні розчини мінеральних солей. Наприклад, рідке скло – це 30–40%-й розчин силікату натрію ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$). Неорганічні клеї мають високу теплостійкість, але підвищену крихкість.

Найбільш поширені на сьогодні синтетичні клеї, які здебільшого є розчинами різних полімерних матеріалів в органічних розчинниках. Для поліпшення властивостей клеїв у них вводять наповнювачі та стабілізатори. Наприклад, клеї на основі полістиролу та органічного скла отримують розчиненням порошків цих матеріалів у 2–5%-му розчині дихлоретану. Клеї на основі термопластів забезпечують з'єднання виробів із вихідних матеріалів у несилкових конструкціях.

Широко поширеними є клеї на основі фенолоформальдегідної смоли. Клей БФ-2 – це спиртовий розчин резольної фенолоформальдегідної смоли і полівінілбутираля. Перевагами таких клеїв є досить висока міцність і теплостійкість, відсутність повзучості за невисоких

температур, гарна водостійкість. Такі клеї використовують для склеювання металів, пластмас, скла, кераміки. Клей БФ-2 стає твердим за температури 160 °С, тиску 0,2–1 МПа і витримки 0,5–1 год. Завдяки високій адгезії до різних матеріалів значного поширення набули клеї гарячого і холодного затвердіння на основі епоксидних смол.

Клей ВК-32-ЕМ складається з епоксидної смоли ЕД-6, затверджувача і мінерального наповнювача. Клей стає твердим за температури 120–160 °С, тиску 0,05–0,3 МПа, витримки 1–2 год. Клей Л-4 виготовляють з епоксидної смоли Е-40, затверджувача (поліетиленполіаміну) і пластифікатора (дибутилфталату). Клей стає твердим за температури 16–20 °С без тиску впродовж 1–1,5 год. Епоксидні клеї гарячого затвердіння забезпечують підвищену міцність.

Клеї на основі еластиків (натуральний, хлоропреновий каучук) мають гарну клейку здатність, еластичність і стабільність властивостей. Як розчинники використовують бензин і, рідше, дихлоретан або бензол. Ці клеї використовують для з'єднання гум між собою, а також із металами і тканинами.

На сьогодні створено теплостійкі клеї. Поліуретанові, епоксидні клеї можна експлуатувати за температури 250 °С. Міцність клейових з'єднань залишається задовільною за 370 °С впродовж 60 год. Найбільш теплостійкими є клеї на основі кремнійорганічних полімерів.

Для склеювання затверділих реактопластів рекомендують термореактивні клеї. Термопласти щодо склеювання можна поділити на легко склеювані (органічне скло, полістирол, полікарбонат, неластифікований полівінілхлорид), умовно легко склеювані (ластифікований полівінілхлорид, поліетилентерефталат) і важко склеювані (поліетилен, поліпропілен, фторопласт, поліаміди, поліформальдегід). Для легко склеюваних пластмас потрібна нескладна підготовка поверхонь, для важко склеюваних – спеціальна підготовка поверхні, наприклад політетрафторетилен обробляють розчином натрію в рідкому аміаку.

Для отримання міцного клейового з'єднання клей повинен змочувати поверхню матеріалу, сили адгезії повинні бути рівні силам когезії, необхідно уникати появи в клейовому шарі великих залишкових напружень.

Контрольні питання

1 Перелічіть переваги, недоліки і сферу застосування пластмас.

2 Дайте характеристику реактопластів і термопластів. У чому полягає їх принципова відмінність?

3 Перелічіть та охарактеризуйте способи виготовлення заготовок із пластмас.

4 Які вимоги ставлять до конструктивного оформлення поверхонь стінок, радіусів заокруглень, отворів, різей, і чим зумовлені ці вимоги?

5 Назвіть фактори, що впливають на розмірну точність і шорсткість поверхней заготовок із пластмас.

6 У яких випадках і в яких межах призначають припуски на механічне оброблення заготовок із пластмас?

7 Які існують методи з'єднання пластмас?

РОЗДІЛ 12 РІЗАННЯ ПРОКАТУ НА ШТУЧНІ ЗАГОТОВКИ

12.1 Різання пруткового прокату на штучні заготовки

Перед різанням на заготовки вигнуті прутки правлять, а місцеві поверхневі дефекти видаляють вирубанням зубилом або зачищуванням абразивними кругами.

Штучні заготовки отримують різанням на сортових ножицях, ламанням на штампах-холодноломах, різанням на металорізальних і анодно-механічних верстатах, кисневим різанням.

Різання на сортових ножицях і на пресножицях застосовують переважно для сталевих прутків. На кривошипних пресах ріжуть прутки діаметром до 20 мм, на ексцентрикових – до 200 мм.

Пруток автоматично або вручну подається до упору (рис. 12.1). Ніж здійснює 10–60 ходів за 1 хвилину. Під час різання на торцях заготовок можливе утворення дефектів: торцеві тріщини, скіс зрізу, зминання і зтяжка. Імовірність їх появи збільшується за зниженої пластичності металу, збільшенні перерізу заготовки, за зберігання прутків на холоді. Тому сталеві прутки великого діаметра (більше ніж 80 мм) і з малопластичних сталей у місці зрізу підігрівають до температури 450–650 °С. Кольорові сплави рубають у холодному стані.

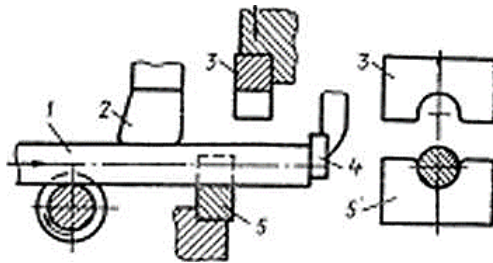


Рисунок 12.1 – Різання прутка на сортових ножицях: 1 – пруток; 2 – притискач; 3 – верхній ніж; 4 – упор; 5 – нижній ніж

Різка на ножицях має дуже високу продуктивність (наприклад, під час різання прутка діаметром 65 мм 3–20 розрізів за 1 хв), але низьку точність за довжиною і великі дефекти торця.

Ламання на штампах-холодноломах застосовують для сталевих прутків діаметром понад 70 мм. У місці брукту по розмітці роблять надріз пилюкою або кисневою різкою (рис. 12.2).

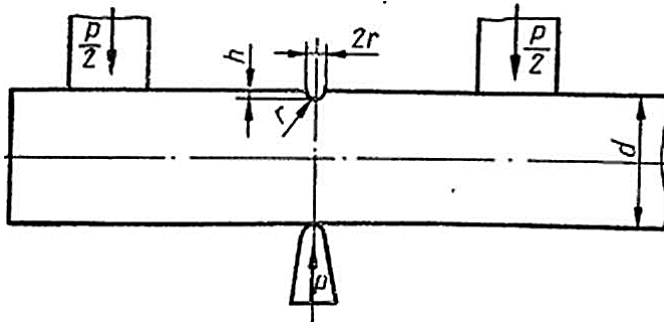


Рисунок 12.2 – Ломка прутка на штампі-холодноломи

Робочий хід штовхача становить 5–10 % від діаметра прутка. Руйнування відбувається майже миттєво. Торць заготовки виходить досить рівний.

Злам дає кращі результати для більш тендітних матеріалів. Для підвищення крихкості м'яку сталь нагрівають до 300 °С. Перевагою зламу є висока продуктивність, можливість отримання порівняно коротких заготовок ($l_{\min} = 0,8d$) і контролю якості металу за видом зламу.

Різання прокату можна проводити на металорізальному обладнанні: на дискових і стрічкових пилах; приводних ножівках; станках, що працюють із тонким абразивним кругом; відрізних та інших верстатах.

Дискові пили являють собою диск діаметром 300–800 мм з різальними зубами. Розрізання прутків дисковою пилюкою здійснюють по одному або пакетом (рис. 12.3).

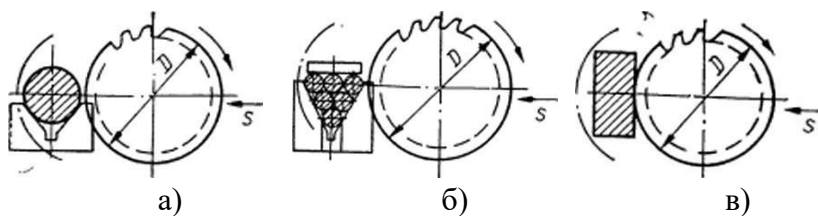


Рисунок 12.3 – Схеми різання прокату дисковою пилкою:
 а) одного прутка; б) пакета прутків; в) прокату прямокутного перерізу

Сучасні дискові пилки забезпечуються гідравлічними затискними пристосуваннями. Для сталевих заготовок розрізання на дискових пилах здійснюється тоді, коли потрібна висока точність по довжині і перпендикулярність торця осі заготовки. Для кольорових металів – це основний метод розрізання, тому що різання їх на ножицях дає більше змінання. Продуктивність різання низька, ширина різі – 3–8 мм, у зв'язку з цим є багато відходів.

Стрічкові пили мають форму нескінченної стрічки товщиною 1,0–1,5 мм (рис. 12.4). Втрати на різання в цьому разі малі. Але сам інструмент (пильна стрічка) коштує дорого. Стрічкові пили використовуються переважно для розрізання прокату кольорових металів (міді, латуні, алюмінію та ін.).

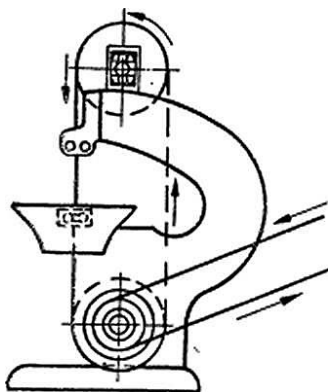


Рисунок 12.4 – Схема вертикальної стрічкової пилки

Приводні ножівки розрізають прокат ножівковим полотном, яке здійснює під деяким тиском зворотно-поступальний рух від механічного привода. Ширина різи становить 2–3 мм. Продуктивність різання мала, однак обслуговування ножівок просте. Один робітник може обслуговувати 5–6 ножівок. Ножівки часто дають косу різь, знижуючи ефект застосування тонких ножівкових полотен.

На станках, які працюють із тонким абразивним кругом, як інструмент використовують абразивні кола на вулканітовій зв'язці товщиною 1–3 мм і діаметром до 500 мм. Ефективність розрізування абразивним кругом досить висока. Наприклад, пруток діаметром 40–50 мм розрізають за 5–6 с. Цей метод дає високу точність за довжиною і якістю торця. Інструмент під час роботи не вимагає переточування, але швидко зношується і коштує досить дорого.

Відрізні верстати служать для розрізання по довжині різних прутків і труб. У цих верстатів на міцній станині розміщена передня бабка з порожнистим шпинделем, по обох кінцях якого розміщені самоцентрувальні затискні патрони. Перевагою цих верстатів є більша продуктивність і невисока собівартість самого верстата та інструментів (різців). Недолік відрізних верстатів – широкий паз (3–5 мм), що призводить до великої втрати металу.

Різання прутків і злиwkів на анодно-механічних верстатах здійснюється дисковими або стрічковими катодами з низьковуглецевої сталі. Інструмент дешевий, легко виготовляється. Швидкість різання становить 10–25 мм/хв, ширина різання – 0,5–2,5 мм. Анодно-механічне різання застосовують для оброблення прутків із твердих або занадто в'язких сплавів (нікелеві, хромонікелеві сплави). Анодно-механічні верстати порівняно дорогі та вимагають кваліфікованої експлуатації.

Кисневе різання ґрунтується на згорянні нагрітого металу в струмені різального кисню. Різання застосовують переважно для сталей, що містять до 0,7 % С. Продуктивність кисневого різання досить велика, особливо в разі застосування автоматів із

декількома різачками, що працюють одночасно. Якість різі задовільна, точність по довжині невелика. Ширина різі становить 4–8 мм. Застосовують переважно для різання великих профілів і вирізання контурно-фасонних заготовок із листа.

Вибір способу різання залежить від форми і розмірів заготовки, а також можливостей способу різання (табл. 12.1) і цеху (заводу).

Таблиця 12.1 – Порівняння способів розділення прутка на штучні заготовки

Спосіб різання	Характеристика способу		
	за продуктивністю, бал	за витратою металу, бал	точність довжини заготовки
На сортових ножицях	1	1	Від $\pm 0,8$ до $\pm 4,5$ мм
На холодноломах	1	1	Від $\pm 1,0$ до $\pm 3,5$ мм
Дисковими пилами	3	4	Від $\pm 0,8$ до $\pm 2,5$ мм
Абразивними кругами	2	2	Від $\pm 0,5$ до $\pm 1,5$ мм
Приводними ножівками	6	3	Від $\pm 0,8$ до $\pm 2,5$ мм
Анодно-механічне	5	2	Від $\pm 0,1$ до $\pm 0,5$ мм
Кисневе	4	5	Від ± 1 до ± 3 мм

Примітка. Збільшення бала в таблиці свідчить про погіршення характеристики

12.2 Термічне різання матеріалу на штучні заготовки

Термічним різанням називають спосіб розділення металу, що базується на нагріванні його до температури займання

(згорання) або розплавлення високотемпературними джерелами теплоти і видалення продуктів згорання або рідкого металу.

12.2.1 Кисневе різання

Найбільшого поширення набув спосіб кисневого різання, сутність якого полягає в спалюванні металу в струмені кисню. Схема процесу показана на рисунку 12.5.

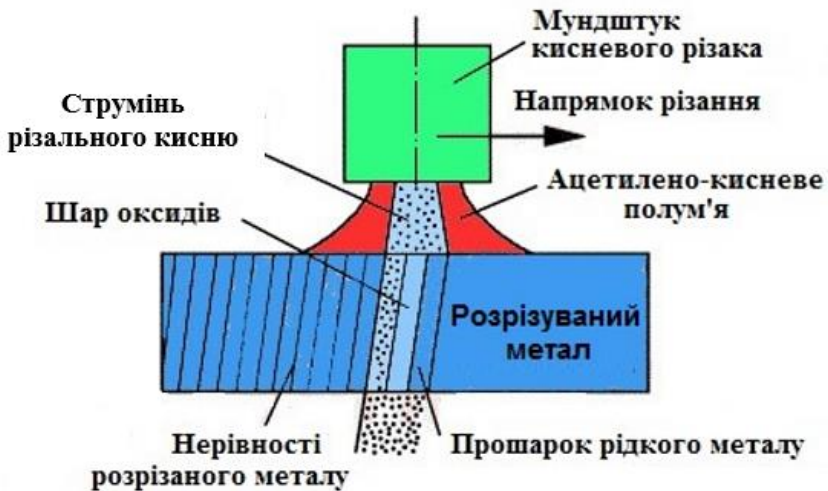
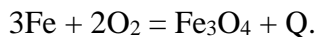


Рисунок 12.5 – Схема газокисневого різання

У початковій точці різи метал нагрівають ацетилено-кисневим полум'ям до температури займання (для сталі – 1 000–1 200 °С), потім направляють струмінь різального кисню, і нагрітий метал починає горіти. Проходить реакція окиснення заліза з виділенням значної кількості теплоти:



Чим більша товщина розрізуваного металу, тим менша роль підігрівального полум'я. У деяких випадках кількості теплоти, що виділяється, виявляється досить для підтримки

процесу без додаткового підігрівання (стара назва способу «автоген» – від французького слова «аутогенно», тобто самовільно). Утворені оксиди видаляються із зони різання струменем кисню.

Кисневе різання дозволяє розрізати не всі метали. Воно можливе, якщо дотримують таких умов:

- кількості теплоти, що виділяється під час згоряння металу, повинно бути достатньо для підтримання процесу;
- температура плавлення металу повинна бути вищою від температури його окиснення;
- температура плавлення утворюваних оксидів повинна бути нижчою від температури плавлення металу;
- утворювані оксиди й шлаки повинні бути рідкотекучими і легко видалятися струменем кисню.

Усі ці умови задовольняє вуглецева сталь, тому кисневе різання широко використовують для цього металу. Інші метали і сплави не зазнають кисневого різання:

- мідь через її високу теплопровідність;
- чавун через низьку температуру плавлення порівняно з температурою займання, а також через значну в'язкість шлаку, що містить кремній;
- алюмінієві та магнієві сплави, а також корозійностійкі сталі, що містять нікель і хром, не зазнають кисневого різання, бо на поверхні цих металів з'являється плівка тугоплавкого оксиду, яка перешкоджає надходженню кисню до неокисненого металу.

Залежно від спрямованості кисневого струменя розрізняють три основних види різання: розділове (наскрізний розріз), поверхневе (зняття шару металу), кисневим списом (пропалювання глибоких отворів).

Розділове кисневе різання сталей для листів товщиною до 300 мм здійснюється універсальними різачками, а сталей більшої товщини – спеціальними різачками зі збільшеними прохідними перерізами для різального кисню.

Якість різі характеризується шорсткістю його поверхні, рівномірністю ширини різі, неперпендикулярністю до поверхні, підплавленням верхньої кромки.

Схема газокисневого різачка показана на рисунку 12.6. У різачку конструктивно об'єднані підігрівальна і різальна частини. Підігрівальна частина аналогічна пристрою зварювального пальника, а різальна включає трубку з вентилям для подання кисню в мундштук. У мундштуці виконані отвори для виходу горючої суміші і різального струменя.

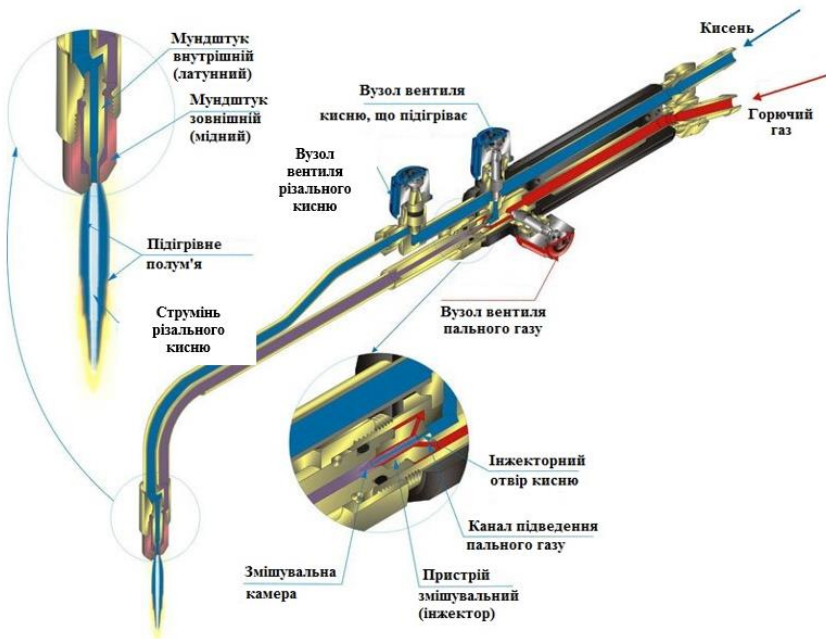


Рисунок 12.6 – Схема газокисневого різачка

Для підвищення продуктивності і якості різі застосовують машинне різання з використанням стаціонарних і переносних машин.

Стаціонарні машини для кисневого різання можуть бути забезпечені одним або декількома різачками, що виконують одночасно різі по складній траєкторії, що задається програмою,

копюванням креслення або шаблону. Переносна машина конструктивно являє собою самохідний візок, забезпечений різак, який встановлюють на розрізаний лист і рухають по напрямній, гнучкому копиру або циркульному пристрою.

За *поверхневого* різання металу струмінь кисню направляють під кутом $15-40^\circ$ до поверхні (рис. 12.7). Водночас метал, розміщений спереду різача, нагрівається нагрітим шлаком, що переміщується. Відбувається видалення шару металу певної товщини з поверхні заготовки. Кількість металу, що видаляється, може досягати 4 кг/хв.

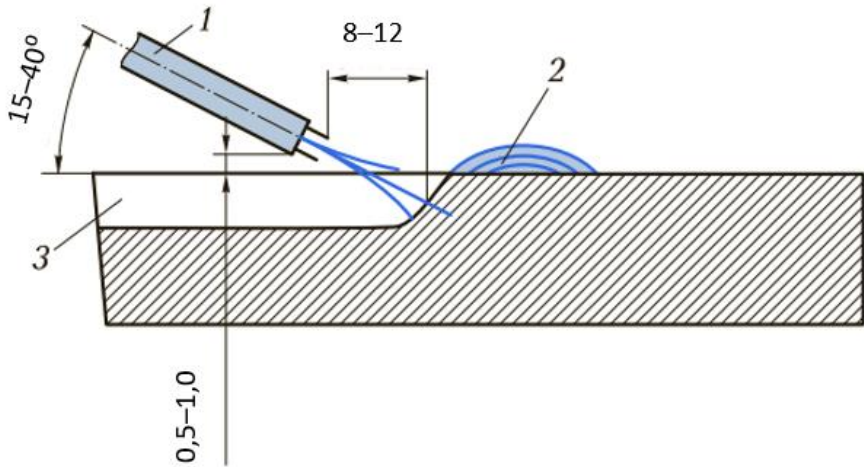


Рисунок 12.7 – Схема поверхневого кисневого різання сталі:
1 – різак; 2 – рідкий оксид металу; 3 – канавка

Різання *кисневим списом* виконують тонкостінною сталеву трубою діаметром $25-30$ мм, по якій подають кисень до місця різі (рис. 12.8). Для того, щоб почати процес, кінець трубки нагрівають газовим пальником або електричною дугою до температури займання. Потім кінець трубки притискають до виробу і пропалюють у ньому отвір. Утворені шлаки тиском газів виносяться назовні в прохід між списом і стінкою отвору.



Рисунок 12.8 – Схема різання кисневим списом

Термічне різання у високолегованих хромонікелевих корозійностійких сталей, чавуну, кольорових металів, які не задовольняють умови кисневого різання, виконують способом *киснево-флюсового* різання (рис. 12.9).

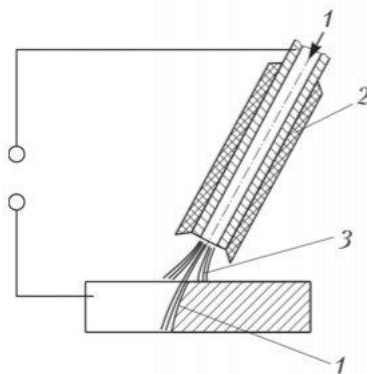


Рисунок 12.9 – Схема киснево-флюсового різання: 1 – кисень; 2 – трубчастий електрод; 3 – дуга

Сутність його полягає в тому, що в зону різі разом із киснем вводять порошкоподібний флюс, основним компонентом якого є залізний порошок. За згоряння заліза виділяється додаткова теплота й утворюються рідкотекучі шлаки, які легко видаляються із зони різі. Під час різання кольорових металів до

складу флюсу вводять також алюмінієвий порошок або кварцовий пісок. Відведенню відпрацьованих газів сприяє механічна дія частинок, що входять до складу флюсу.

12.2.2 Дюгові та променеві способи різання металів

Електрична дуга як потужне концентроване джерело нагрівання може бути використана для різання металу. Ручне дугове різання неплавким або плавким електродом на завищеній (на 20–30 %) щодо зварювання силі струму часто використовують як допоміжну операцію. Водночас відбувається не згоряння, як за кисневого різання, а виплавлення металу із зони різі, і різь виходить із нерівними оплавленими краями.

Спосіб *повітряно-дугового різання* відрізняється тим, що електрична дуга розплавляє метал, а його видалення із зони різі проводиться стисненим повітрям (рис. 12.10).

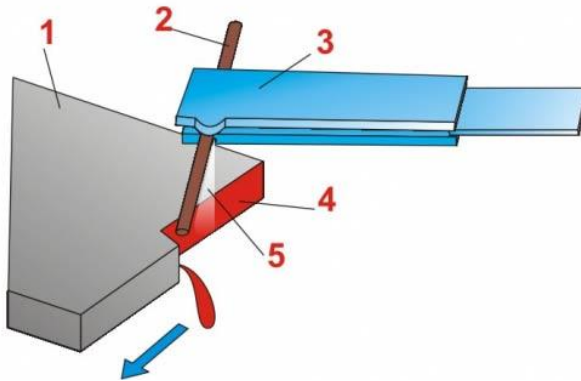


Рисунок 12.10 – Схема повітряно-дугового різання металу:
1 – метал; 2 – електрод; 3 – повітряно-дуговий різак;
4 – розрізаний метал; 5 – струмінь повітря

Цей спосіб широко використовують для видалення дефектних місць у виливках для їх заварювання, для роздільного різання листів із корозійностійкої сталі. Різання здійснюють спеціальними різиками на постійному струмі вугільними

електродами. Повітря під тиском 0,4–0,5 МПа подають, зазвичай збоку.

Плазмове різання полягає в проплавленні металу, що розрізається, за рахунок теплоти, що генерується стисненою плазмовою дугою, й інтенсивному видаленні розплаву плазмовим струменем.

Плазма є іонізованим газом із високою температурою, здатний проводити електричний струм. Плазмове різання виходить із звичайної дуги у спеціальному пристрої – плазмотроні – в результаті її стиснення та вдування в неї плазмоутворювального газу. Розрізняють дві схеми плазмового різання: плазмодугове різання та різання плазмовим струменем.

За *плазмодугового різання* дуга горить між неплавким електродом і металом, що розрізається (дуга прямої дії). Стовп дуги поєднаний із високошвидкісним плазмовим струменем, який утворюється з газу, що надходить, за рахунок його нагрівання та іонізації під дією дуги. Для розрізання використовується енергія одного з приелектродних плям дуги, плазми стовпа і факела, що впливає з нього.

Під час *різання плазмовим струменем* (рис. 12.11) дуга горить між електродом і формувальним наконечником плазмотрона, а об'єкт, що обробляється, не включений в електричний ланцюг (дуга непрямої дії). Частина плазми стовпа дуги виноситься з плазмотрона у вигляді високошвидкісного плазмового струменя, енергія якого і використовується для розрізання. Метал розплавляється і виводиться потоком плазми.

Оскільки потужність плазмової струї можна регулювати в широких межах, діапазон товщини розрізуваного металу становить від часток до десятків міліметрів. Практично всі метали можуть бути розрізаними плазмовим струменем. Процес різання відрізняється високою ефективністю. Як плазмогенерувальні гази можна використовувати азот, водень, аргонводневу суміш.

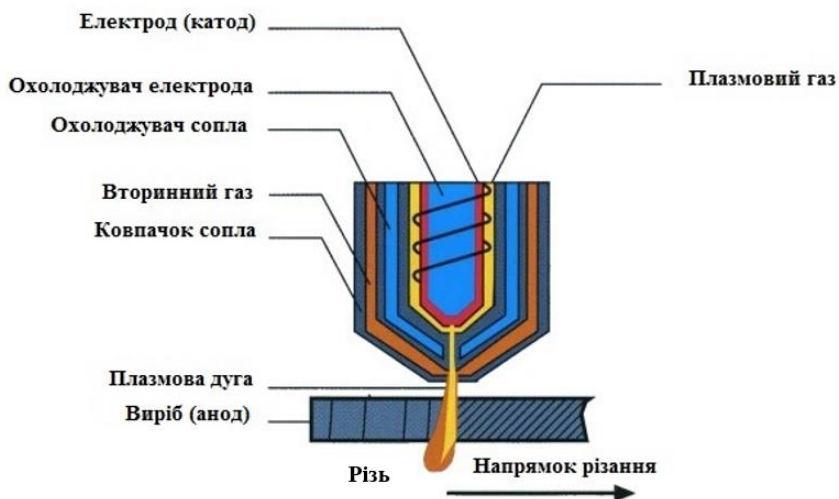


Рисунок 12.11 – Схема різання плазмовим струменем

За лазерного різання нагрівання та руйнування ділянки матеріалу здійснюється за допомогою лазерного променя.

У зоні впливу лазерного променя метал нагрівається до першої температури руйнування – плавлення. Поглинаючи випромінювання, метал розплавляється і фазова межа плавлення переміщається вглиб матеріалу. Далі продовжується енергетична дія лазерного променя, що призводить до збільшення температури, що досягає другої температури руйнування – кипіння, за якої метал починає активно випаровуватися.

Таким чином, можливі два механізми лазерного різання – плавлення та випаровування. Однак останній механізм вимагає високих енерговитрат і здійснений лише для дуже малої товщини металу. Тому на практиці різання виконують плавленням. Водночас із метою істотного скорочення витрат енергії підвищення товщини оброблюваного металу та швидкості розрізання застосовують допоміжний газ, який вдувають у зону різі з метою видалення продуктів руйнування

металу. Найчастіше як допоміжний газ використовують кисень, повітря, азот. Таке різання називають газолазерним (рис. 12.12).

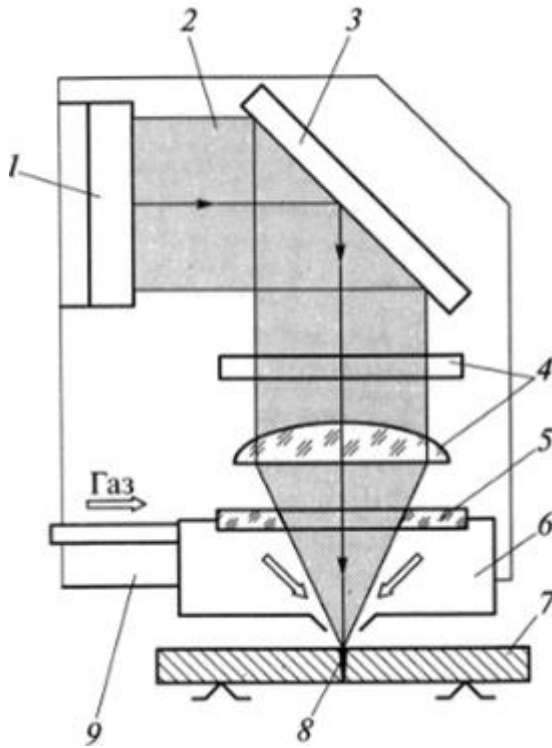


Рисунок 12.12 – Схема газолазерного різання:

- 1 – лазер; 2 – лазерний промінь; 3 – дзеркало; 4 – фокусувальна система; 5 – вікно; 6 – камера; 7 – виріб, 8 – лінія різі;
- 9 – корпус, що проходить через фокусувальну систему 4 і прозоре вікно 5 газової камери 6. Необхідна конфігурація різі забезпечується переміщеннями корпусу 9 головки

Висока концентрація енергії лазерного променя дозволяє використовувати його для різання різноманітних матеріалів, зокрема неметалічних. Лазером можна розрізати метали, скло, кераміку, алмази. За впливу лазерного променя відбуваються плавлення і випаровування матеріалу із зони різі. Різи виходять

вузькими і досить точними. Під час різання використовують лазери безперервної дії.

Порівняльний аналіз основних видів різання металу наведено в таблиці 12.2.

Контрольні питання

1 Які існують способи розділення пруткового прокату на штучні заготовки?

2 Які існують способи термічного різання листового прокату на штучні заготовки?

Таблиця 12.2 – Параметри основних видів різання металу

Параметр	Вид різання		
	кисневе	плазмове	лазерне
1	2	3	4
Типова сфера застосування	Метали та їх сплави, крім нержавіючої сталі, алюмінію, міді, латуні; бетон і залізобетон; кольорові метали (киснево-флюсове різання)	Метали та інші електропровідні матеріали (плазмово-дугове різання); різні неелектропровідні матеріали (різання плазмовою струєю)	Майже будь-які матеріали
Характерна товщина металу, мм	До 1 500–2 000 і більше	До 100–150 (звичайно до 50–100)	До 40 (звичайно до 6–20)
Типова ширина різі, мм	До 10	0,2–0,7	0,1–1
Якість	Низька	Середня	Висока

Продовження таблиці 12.2

1	2	3	4
Продуктивність різання металу (без пакетного різання)	Попереднє підігрівання; повільна швидкість із поступовим зниженням на середніх і великих товщинах. Швидкість різання – 0,12–0,3 м/хв	Швидке пропалювання, дуже висока швидкість за малих і середніх товщин зазвичай із різким зниженням за збільшення товщини. Швидкість різання – 1,0–4,5 м/хв	Дуже висока швидкість за малих товщин зазвичай із помітним зниженням за збільшення товщини, тривале пропалювання великих товщин. Швидкість різання – 1,5–4,5 м/хв
Зона термічного впливу	Велика	Велика	Середня
Вартість обладнання	Низька	Середня	Висока
Вартість обслуговування	Низька	Висока	Висока

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Basson E. World Steel in Figures 2023 [Electronic resource] / E. Basson // World Steel Association. – 2023. – Access mode : <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2023/>.
2. Technology for complex parts machining in multiproduct manufacturing / V. Ivanov, I. Dehtiarov, I. Pavlenko та ін. // Management and Production Engineering Review. – 2019. – № 10 (2). – С. 25–36.
3. Youssef H. Manufacturing Technology / H. Youssef, H. El-Hofy, M. Ahmed // Materials, Processes, and Equipment. – 2023.
4. Наукові основи складання машин / В. І. Савчук, О. В. Івченко, А. В. Євтухов, І. М. Дегтярьов. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – 277 с.
5. O'Neill B. Metal manufacturing processes compared: machining, forging, casting, powder, additive, extrusion [Electronic resource] / B. O. Neill // Wevolver. – 2023. – Access mode : <https://www.wevolver.com/article/metal-manufacturing-processes-compared-machining-forging-casting-powder-additive-extrusion>.
6. More Metal, Less Waste: the Zero Slag Process [Electronic resource] // Total Materia. – 2020. – Access mode : <https://www.totalmateria.com/en-us/articles/more-metal-less-waste-the-zero-slag-process/>.
7. Steel production residues [Electronic resource] // Jernkontoret. – 2024. – Access mode : <https://www.jernkontoret.se/en/the-steel-industry/production-utilisation-recycling/steel-production-residues/>.
8. Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel [Electronic resource] / M. Reuter, C. Hudson, A. van Schaik et al. // UNEP. – 2013. – Access mode : https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/e-book_metals_report2b_recycling_opportunities_130919.pdf.
9. 176% Rise in Metal Prices, 260% Rise in Energy Prices Marks Era of Soaring Costs as Resources Decline, Energy

[Electronic resource] // UNEP. – 2014. – Access mode : <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/176-rise-metal-prices-260-rise-energy-prices-marks-era-soaring-costs>.

10. Mills K. The Casting Powders Book [Electronic resource] / K. Mills, C. Däcker. – 2017. – Access mode : <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53616-3>.

11. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок : підручник / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 1996. – 368 с.

12. Ходирева О. О. Сучасний стан та проблеми розвитку машинобудівних підприємств України / О. О. Ходирева // Економічний аналіз : зб. наук. пр. – Тернопіль : ЗУНУ, 2021. – Т. 31, № 1. – С. 227–238.

13. Ноговіцин О. В. Деякі особливості розвитку технологічної бази машинобудування України / О. В. Ноговіцин, В. А. Тітов, С. Є. Красний // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – Київ : НТУУ «Київський політехнічний інститут», 2009. – № 56. – С. 258–262.

14. Розвиток машинобудування в Україні: проблеми та шляхи їх вирішення : монографія / наук. ред. д-р екон. наук, проф. С. О. Іщук ; ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долішнього НАН України». – Львів, 2022. – 137 с.

15. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навч.-метод. посіб. / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – 148 с.

16. Композитні та порошкові матеріали : навчальний посібник / П. П. Савчук, В. П. Кашицький, М. Д. Мельничук, О. Л. Садова ; за заг. ред. П. П. Савчука. – Луцьк : Видавець ФОП Теліцин О. В., 2017. – 368 с.

17. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях) : навч. посіб. / Т. П. Говорун, О. П. Гапонова, С. В. Марченко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 163 с.

Електронне навчальне видання

**Іванов Віталій Олександрович,
Ступін Борис Анатолійович,
Берладір Христина Володимирівна**

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки В. О. Іванова
Редакторка Н. З. Ключко
Комп'ютерне верстання В. О. Іванова, Х. В. Берладір

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 11,04. Обл.-вид. арк. 10,55.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.

Іванов В. О., Ступін Б. А., Берладір Х. В.

ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Навчальний посібник

Навчальний посібник містить теоретичні відомості про заготовки, одержувані різними способами, зокрема литтям, пластичним деформуванням, об'ємним гарячим штампуванням, штампуванням заготовок на молотах і пресах, горизонтально-кувальних і спеціальних машинах, а також методами порошкової металургії. Проаналізовано технологічні аспекти заготовок, методи і способи забезпечення якості, точності та технологічності заготовок під час виготовлення. У навчальному посібнику представлено особливості методів виробництва заготовок деталей машин, підходи до визначення розмірів вихідної заготовки, рекомендації щодо оформлення креслень і технічних вимог до них. Для деяких методів наведені розрахунки техніко-економічної ефективності. Навчальний посібник також містить контрольні питання до кожного розділу.

Рекомендований для студентів інженерно-технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

Навчальний посібник підготовлено за сприяння International Association for Technological Development and Innovations та International Innovation Foundation.

iATDI International Association for
Technological Development
and Innovations

iif INTERNATIONAL
INNOVATION
FOUNDATION