

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

# **ТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБНИЦТВ. ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК**

посібник для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю  
131 «Прикладна механіка»

Тернопіль  
2023

Укладачі:

*Комар Р.В.*, канд. техн. наук, доцент;  
*Паньків М.Р.*, канд. техн. наук, доцент;  
*Сенчишин В.С.*, канд. техн. наук, доцент.

Рецензент:

*Дзюра В.О.*, докт. техн. наук, професор.

Методичні вказівки розглянуто й схвалено на засіданні методичного семінару кафедри інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол №2 від 12 жовтня 2023 року.

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні методичної ради факультету інженерії машин, споруд та технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол №3 від 26 жовтня 2023 року.

**Посібник з дисципліни «Технології та устаткування машинобудівних виробництв. Виробництво заготовок» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / Укладачі: Комар Р.В., Паньків М.Р., Сенчишин В.С. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 152 с.**

Посб1

Відповідальний за випуск: доц. *Комар Р.В.*

© Комар Р.В., Паньків М.Р.,  
Сенчишин В.С. .... 2023  
© Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя ..... 2023

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
<b>1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАГОТОВКИ</b>	
1.1 Сучасний стан заготівельного виробництва .....	7
1.2 Основні види заготовок та способи їх виробництва, класифікація .....	8
1.3 Дефекти заготовок, контроль якості .....	13
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ЗАГОТОВОК</b>	
2.1 Конструкційні матеріали та принципи їх вибору .....	18
2.2 Вибір способу отримання заготовки .....	20
2.3 Технологічність конструкцій і точність заготовок .....	21
<b>3 ЗАГОТІВЕЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО</b>	
3.1 Спорядження ливарних дільниць .....	29
3.2 Устаткування ковальсько-штампувальних цехів .....	36
3.3 Оснащення для виробництва вихідних заготовок .....	39
<b>4 ПЕРЕДУМОВИ ВИРОБНИЦТВА ВІДЛИВОК</b>	
4.1 Загальна технологічна схема і класифікація способів виготовлення відливок .....	41
4.2 Основні властивості матеріалів для лиття та види ливарних форм .....	43
4.3 Конфігурація конструкцій відливок, дефекти та причини їх виникнення .....	45
<b>5 СПОСОБИ ЛИТТЯ У РАЗОВІ І НАПІВСТАЛІ ФОРМИ</b>	
5.1 Лиття в піщано-глиняні форми .....	48
5.2 Спосіб лиття у вакуумно-плівкові форми .....	49
5.3 Метод лиття в оболонкові форми .....	50
5.4 Лиття по виплавлених, розчинних та випалюваних моделях .....	52
5.5 Спосіб лиття у напівсталі форми .....	53
<b>6 СПОСОБИ ЛИТТЯ У БАГАТОРАЗОВІ ФОРМИ</b>	
6.1 Лиття у металеві форми .....	54
6.2 Відцентрове лиття .....	56
6.3 Лиття під високим тиском .....	57
6.4 Лиття під низьким тиском .....	59
<b>7 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК</b>	
7.1 Вихідні дані та послідовність проектування .....	61
7.2 Місцеположення елементів ливникової системи .....	64
7.3 Особливості виготовлення форм для відливок з різних сплавів .....	66
<b>8 СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК З ПЛАСТМАС І ГУМИ</b>	
8.1 Загальна характеристика матеріалів та групові технології виробництва заготовок з пластмас і гуми .....	69
8.2 Методи виробництва пластмасових заготовок .....	70
8.3 Виготовлення заготовок з гуми .....	76
<b>9 ВИРОБНИЦТВО ПОРОШКОВИХ І КОМПЗИТНИХ ЗАГОТОВОК</b>	
9.1 Порошкові заготовки .....	77
9.2 Приготування матеріалів для порошкових заготовок .....	79
9.3 Виробництво заготовок із порошкових матеріалів .....	80

9.4	Матеріали композитних заготовок .....	81
9.5	Методи виробництва композитних заготовок .....	82
10	<b>ПЕРЕДУМОВИ ВИРОБНИЦТВА ПОКОВОК І ШТАМПОВОК</b>	
10.1	Технологічність при конструюванні, вибір площини роз'єму і матеріалу .....	83
10.2	Розміри, технічні вимоги і якість поковок .....	85
10.3	Підбір основного та допоміжного устаткування для процесів ОМТ .....	88
10.4	Устаткування для очищення та транспортування поковок .....	89
11	<b>ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ</b>	
11.1	Загальні відомості про способи обробки матеріалів тиском .....	91
11.2	Виробництво заготовок прокатуванням і вільним куванням .....	92
11.3	Способи об'ємного гарячого штампування .....	95
11.4	Штампування на молотах та пресах .....	99
12	<b>ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК НА СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИНАХ</b>	
12.1	Виробництво заготовок на горизонтально-кувальних машинах .....	101
12.2	Кування на ротаційно-кувальних і радіально-кувальних машинах .....	103
12.3	Штампування на швидкісних молотах .....	104
12.4	Ротаційне витягування .....	104
12.5	Холодне прокатування трубчастих заготовок .....	105
12.6	Заготовки отримані волочінням .....	106
13	<b>ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК ОБ'ЄМНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ</b>	
13.1	Холодне об'ємне штампування .....	108
13.2	Розкатування кільцевих заготовок .....	111
13.3	Накатування спеціальних поверхонь .....	112
13.4	Заготовки отримані на електровисаджувальних машинах .....	113
13.5	Технологічні процеси витискування, прошивання і пресування .....	113
13.6	Штампування у рознімних матрицях .....	114
14	<b>СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ТИСКОМ</b>	
14.1	Штампування вибухом .....	115
14.2	Електрогідравлічне штампування .....	118
14.3	Магнітно-імпульсне штампування .....	119
14.4	Штампування з використанням ультразвуку .....	121
14.5	Гнуття неметалевих матеріалів .....	123
14.6	Технологічні методи штампування гумою і поліуретаном .....	124
15	<b>ВИРОБНИЦТВО СКЛАДАНИХ ТА ЗВАРНИХ ЗАГОТОВОК</b>	
15.1	Складані заготовки .....	124
15.2	Види складаних заготовок .....	126
15.3	Зварні заготовки .....	126
15.4	Основні ТП виготовлення зварних заготовок .....	128
15.5	Конструювання складаних і зварних заготовок .....	129
16	<b>ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК</b>	
16.1	Сучасні технології виробництва заготовок по газифікованих моделях .....	131
16.2	Кріотехнології у виробництві відливок .....	135

16.3	Стереолітографія .....	137
16.4	Селективне лазерне спікання .....	139
<b>17 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ</b>		
17.1	Технологічні процеси гідроабразивної обробки .....	143
17.2	Технології лазерної обробки матеріалів .....	145
17.3	Плазмова обробка матеріалів заготовок .....	146
17.4	Імпульсне різання .....	148
17.5	Технологія криогенного різання .....	149
<b>18 ВАРТІСТЬ ЗАГОТОВОК, СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ</b>		
18.1	Техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки ...	150
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>		<b>151</b>
<b>ВИКОРИСТОВУВАНІ СКОРОЧЕННЯ .....</b>		<b>152</b>

## ВСТУП

Основною задачею вивчення дисципліни є ознайомлення студентів із сучасними технологічними способами виробництва заготовок для деталей машин, обладнанням, інструментами і оснащенням для виготовлення заготовок, оволодіння методикою вибору та обґрунтування найбільш раціонального способу отримання заготовок у заданих виробничих умовах.

За результатами вивчення дисципліни студент повинен продемонструвати відповідні результати навчання, а саме:

- знання сучасних методів і способів виробництва заготовок деталей машин; технологічних особливостей існуючих видів заготовок; методик вибору і обґрунтування способу отримання заготовки;

- вміння вибирати найбільш раціональний спосіб отримання заготовки; встановити технологічні характеристики заготовки; вибрати обладнання та оснащення для виготовлення заготовок; провести техніко-економічне обґрунтування вибраного методу отримання заготовки; застосовувати сучасні ефективні засоби роботи з науковою та навчально-методичною літературою.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів компетентностей, а саме загальних:

- володіння культурою мислення, здатність до узагальнення, аналізу, сприйняття інформації, постановки мети і вибору шляхів її досягнення;

- здатність використовувати нормативні правові документи в своїй діяльності;

- здатність до використання основних положень і методів соціальних, гуманітарних і економічних наук при вирішенні соціальних і професійних задач, здатність аналізувати соціально значущі проблеми і процеси;

- вміння використовувати фундаментальні закони природи, закони природничо-наукових дисциплін і механіки в процесі професійної діяльності.

Фахових компетентностей:

- здатність виконувати розрахунково-експериментальні роботи і вирішувати науково-технічні завдання в галузі прикладної механіки на основі досягнень техніки і технологій, класичних і технічних теорій і методів, фізико-механічних, математичних і комп'ютерних моделей, володіння високим ступенем адекватності до реальних процесів, машин і конструкцій;

- здатність виконувати описи виконаних розрахунково-експериментальних робіт та проектів, обробляти і аналізувати отримані результати, готувати дані для складання звітів і презентацій, написання доповідей і іншої науково-технічної документації;

- здатність брати участь в роботах з техніко-економічного обґрунтування машин і конструкцій, що проектуються, з складання окремих видів технічної документації на проекти та їх елементи;

- здатність брати участь в роботах з пошуку оптимальних рішень при створенні окремих видів продукції з урахуванням вимог динаміки і міцності, довговічності, безпеки життєдіяльності, якості, вартості, термінів виконання і конкурентоспроможності.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАГОТОВКИ

## 1 Сучасний стан заготівельного виробництва

На сьогодні більше 85% підприємств світового машинобудування працює за принципом одиничного та серійного виробництв, тобто машинобудування стало багатомономенклатурним. При цьому від 30 до 60% металу в процесі виготовлення заготовок втрачається у відходах (ливникові системи, прибутки, облой, пригар), що є істотною проблемою.

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 розробку 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, включаючи його техніко-економічне обґрунтування.

У зв'язку з цим основне завдання заготівельного виробництва полягає у досягненні максимального наближення форми та розмірів заготовки до форми та розмірів деталі.

Тобто головна тенденція у розвитку заготівельного виробництва полягає в зниженні трудомісткості і долі механічної обробки при виготовленні деталей машин за рахунок підвищення точності форми і розмірів заготовок.

Раціональним вибором заготовок передбачається:

- застосування заготовок, близьких за формою і розмірами до готової деталі;
- заміна декількох деталей однією монолітною шляхом її виливання, штампування чи зварювання;
- скорочення кількості поверхонь, що піддаються механічній обробці.
- під час проектування деталей, за можливістю, необхідно зберігати без обробки всі неробочі поверхні. Це особливо важливо для відливок, у яких внутрішні шари металу менш міцні і зняття зовнішнього шару знижує міцність деталі.

Одним із головних напрямків виробництва заготовок є:

- вдосконалення заготівельних процесів для максимального наближення форми заготовок до конфігурації готових деталей, підвищення точності заготовок та покращення якості їх поверхневого шару;
- впровадження маловідходних і безвідходних технологій виготовлення заготовок деталей машин;
- використання точних заготовок, які суттєво знижують технологічну собівартість виробу. Такими є заготовки, що отримуються методами порошкової металургії та із композиційних матеріалів.

Можливості порошкової металургії для виготовлення деталей з різними властивостями практично необмежені. Цими методами можна створювати матеріали із композицій металів із різними неметалічними включеннями; отримувати матеріали заданої пористості; із заданими фізико-механічними властивостями. Виготовлені деталі можуть бути самими різними: антифрикційними, конструкційними, фільтруючими, електроконтактними, інструментальними, причому відходи при обробці є мінімальними.

Основними вихідними матеріалами деталей є порошки металів (залізні, мідні, нікелеві, кобальтові, молібденові, вольфрамові, титанові), порошки-сплави та ін. Фізико-механічні властивості порошоків визначаються основним матеріалом, наявністю домішок, газів, формою і розмірами частинок, густиною і мікротвердістю.

Застосування високоенергетичних методів формоутворення деталей дозволяє досягати густини біля 100%, і, відповідно міцності, близької до міцності штамповок і виливок з того ж матеріалу.

Формування виробів в більшості випадків виконується холодним пресуванням у закритих прес-формах, після чого виріб запікається і отримує задані властивості. Після запікання можна проводити додаткову обробку: просочення мастильними матеріалами, термообробку, калібрування, обробку різанням.

Одним із найбільш перспективних напрямків створення матеріалів із високими експлуатаційними властивостями є формування композиційних матеріалів з вуглецевими волокнами, що мають різні фізико-механічні і фізико-хімічні властивості. Композиційні матеріали в порівнянні з металами і сплавами мають такі переваги: високі показники міцності, жорсткості і в'язкості; малу чутливість до зміни температури; теплових ударів, високу корозійну стійкість, малу чутливість до поверхневих дефектів, високі пластичні властивості, електро- і теплопровідність.

Композити дають можливість виготовляти деталі машин фактично без заготівельних процесів шляхом безвідходної технології із значним зниженням маси за рахунок більш високої міцності і пружності матеріалів. Зниження затрат на сировину і виробництво волокон, розробка раціональних технологічних процесів виготовлення деталей із композитів забезпечить їм широке використання в різних галузях промисловості.

## **2 Основні види заготовок та способи їх виробництва, класифікація**

*Заготовкою* називають виріб, з якого зміною форми, розмірів, шорсткості поверхні і властивостей матеріалу отримують деталь або суцільну складальну одиницю. В машинобудуванні під *заготовкою* деталі прийнято розуміти напівфабрикат, який потрапляє на механічну обробку, в результаті якої він перетворюється в готову деталь.

У машинобудуванні використовують заготовки виготовлені:

– *литтям*: (відливки) у піщано-глиняні, вакуумно-плівкові, напівсталі, металеві, оболонкові форми; електрошлакове, відцентрове, під тиском



(високим, низьким); по виплавляємим, розчинним, випалюваним, газифікованим моделях.



Рисунок 1.1 – Литі заготовки (відливки)

– прокатуванням. На прокатних станах, валках. Отримують сортові та фасонні профілі, трубний прокат, гнуті, пресовані та періодичні профілі.



Рисунок 1.2 – Машинобудівний профіль (прокат)

– вільним куванням (кованки, поковки), штампуванням (штамповки), яке поділяють на:

а) *об'ємне гаряче штампуванням*: на молотах, КГШП, гвинтових фрикційних, гідравлічних пресах, ГKM, РКМ і РДKM.

б) *штампування на спеціалізованих машинах*: вальцювання; прокатування періодичних профілів; штампування на горизонтально-вигинальних, електровисаджувальних машинах; штампування на швидкісних молотах; розкатування кільцевих заготовок; накатування спеціальних поверхонь; штампування поковок витискуванням, прошиванням і пресуванням, у роз'ємних матрицях; волочіння; ізотермічне штампування; штампування рідкого металу; штампування з місцевим нагріванням; виготовлення трубчастих заготовок.

в) *холодне штампування та спеціальні методи штампування*: листове штампування; листове штампування за допомогою еластичних матеріалів; ротаційне витягування; холодне прокатування.

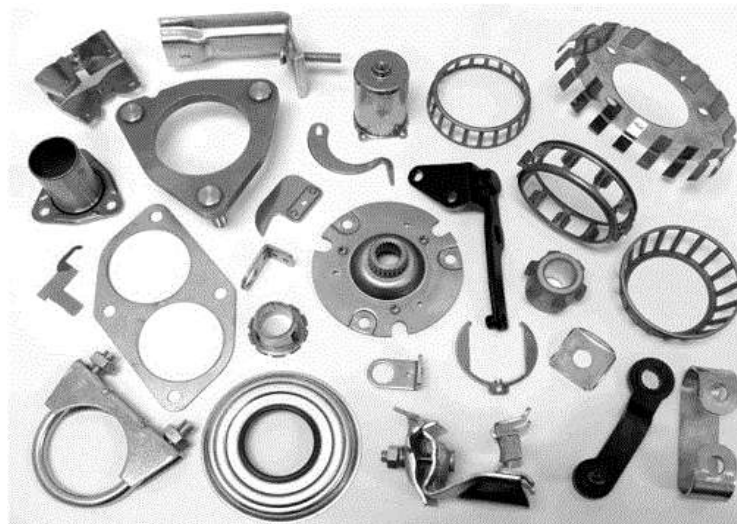


Рисунок 1.3 – Штамповані і ковані заготовки (штамповки і поковки)

– з порошкових матеріалів – виготовляють заготовки з металів, кераміки та пластмас. Класифікують їх за способами виготовлення, матеріалами, наповнювачами, барвниками. Ці заготовки практично не відрізняються від готових деталей та майже не потребують механічної обробки.



Рисунок 1.4 – Типові конструкції порошкових заготовок

– з пластмас і гуми.



Рисунок 1.5 – Типові конструкції пластмасових і гумових заготовок

– складані (зварні). Класифікують за матеріалами, способами з'єднання та виготовлення їх складових частин. Даний спосіб дозволяє виготовляти складні за конфігурацією та масивні вироби.



Рисунок 1.6 – Складані (зварні) заготовки

- *інші види заготовок*. Заготовки формують шляхом механічної обробки сортового та спеціального прокату за допомогою металорізальних верстатів, ножиць, штампів, газових, електричних, променевих, механічних різаків та способу гідроабразивної різки.

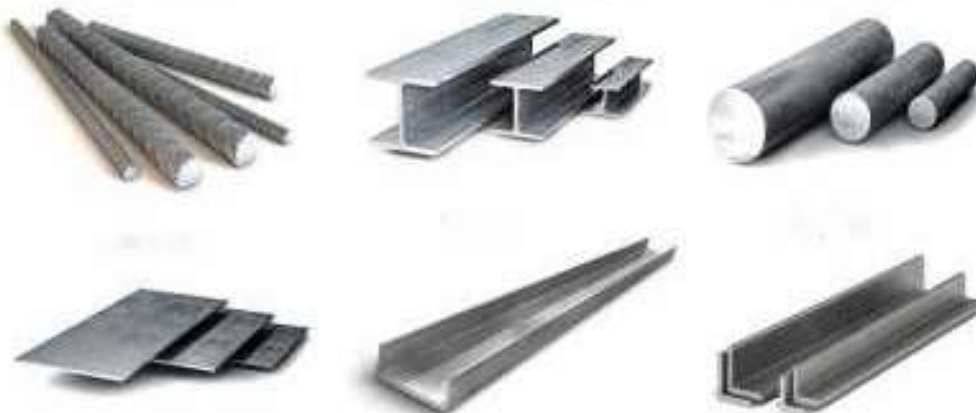


Рисунок 1.7 – Заготовки сформовані шляхом механічної обробки сортового та спеціального прокату

Класифікація технологічних процесів виробництва заготовок у машинобудуванні:

*лиття* – отримання заготовки з рідкого металу шляхом заповнення ним порожнини заданої форми з наступним твердненням;

*обробка тиском* – формоутворення заготовки шляхом пластичного деформування чи відокремлення матеріалу без виходу стружки;

*формовка* – утворення заготовки з порошкового чи волокнистого матеріалу шляхом заповнення ним порожнини заданої форми з подальшим стискуванням;

*гальванопластика* – формування заготовки з рідкого матеріалу шляхом випадання в осад металу з розчину під дією електричного струму;

*обробка різанням* – отримання заготовки шляхом відокремлення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки;

*термічна та хіміко-термічна обробка* – зміна структури та властивостей матеріалу заготовки під дією теплових або теплових і дифузійних впливів одночасно;

*електрофізична обробка* – зміна форми та розмірів заготовки внаслідок дії електричних розрядів, магнітострикційного ефекту, плазмового променя, електронного та оптичного випромінювання;

*електрохімічна обробка* – зміна форми та розмірів заготовки розчиненням частини матеріалу в електроліті під дією електричного струму;

*покриття* – утворення на заготовці поверхневого шару із заданого чужорідного матеріалу (фарбування, анодування, металізація, напилювання, оксидація);

*складання* – формування заготовки внаслідок з'єднання окремих її частин шляхом зварювання, лютування, склеювання, згвинчування, клепаання;

*зварювання* – нерознімне з'єднання матеріалів молекулярним зчепленням, якого досягають у результаті розтоплення матеріалів чи їх розм'якшення;

*лютування* (паяння) – нерознімне з'єднання матеріалів молекулярним зчепленням внаслідок змочування твердих поверхонь матеріалів іншим рідким металом, що має нижчу температуру плавлення;

*склеювання* – нерознімне з'єднання матеріалів молекулярним зчепленням у результаті змочування твердих поверхонь матеріалів клеями, які після висихання чи рекристалізації тверднуть;

*згвинчування та заклепування* – це способи з'єднання та скріплення окремих частин чи деталей за допомогою гвинтів, болтів, шпильок, гайок, заклепок.

Для складання, крім згаданих вище способів з'єднання окремих частин та деталей, застосовують також спеціальні конструктивні елементи (гачки, виступи, прорізи, пази, скоби, пружини), які часто забезпечують отримання надійних та ефектних рознімних з'єднань.

### **3 Дефекти заготовок, контроль якості**

Дефекти заготовок зумовлені неякісними сировиною та вихідними матеріалами, з яких вони виготовлені, невідповідністю виробничого процесу технологічній документації. Запобігає цим дефектам контроль вхідної сировини та вихідних заготовок, що надходять у виробництво від постачальників, якісний контроль за: дотриманням вимог ТП, справністю основного устаткування та технологічного спорядження, різальних інструментів, контрольно-вимірювальних засобів, атестація контрольно-вимірювальних засобів, дотримання правил і методики виконання робіт, сумлінність робітників і контролерів.

Найпоширеніші дефекти:

– **відливок**: жолоблення, спотворення форми поверхонь, гарячі тріщини чи холодні тріщини, раковини, крихкість.

Причини: невдалі конструкції виливків, ливарних форм, ливникових систем; невідповідність хімічного складу матеріалів, з яких вони виготовлені, режимів заповнення форм рідким металом, ливарні властивості матеріалів, нерівномірна дегазація, невідповідні температура металу та швидкість його заливання, наявність флюсу, шлаку.

– **поковок**: нерівності форми, неточність розмірів, риси, забиття, закатування, задирки, знеуглецьований поверхневий шар, зміни макроструктури матеріалу, розшарування, сліди від витравлювання.

Причини: невідповідність матеріалу вихідної заготовки вимогам креслень і технічних умов, неточність розмірів форм.

– **штамповок**: недоштаповування, відносний зсув окремих частин (незбігання половин штампа), заштаповування та складки металу, втягування, сколювання, вм'ятини та забиття металу, жолоблення, перекошування, тріщини, риси.

Причини: мала маса вихідної заготовки, низька температура штампування, недостатня маса падаючих частин молота чи потужність преса, невідповідність чорнового та чистового рівчаків штампа, малі радіуси заокруглень.

– **зварних заготовок:** непроварювання; перепалювання; пропалювання; шпаристість; напливи.

Причини: неправильний добір режимів зварювання, забруднення та недостатня якість використовуваних матеріалів.

Контроль якості заготовок – це перевірка сировини та вихідних заготовок, виконання технологічних операцій та готових заготовок.

Контроль якості вихідних матеріалів полягає у:

– для виливків – у встановленні хімічного складу та фізичного стану шихтових і формувальних матеріалів;

– для кованок (поковок), штамповок – у визначенні якості прокату чи виливків, що призначені для їх виготовлення;

– для пластмасових і порошкових заготовок – у перевірці якості порошків, гранульованих пластмас, наповнювачів, зв'язуючих матеріалів.

Контроль якості виробів здійснюють працівники виробництва і служб технічного контролю. Основні види контролю встановлені державними стандартами. Розрізняють стаціонарний та поточний контроль.

За повнотою охоплення та часом виконання контроль є суцільним і вибіркоvim, безперервним і періодичним, залежно від стадії виробничого процесу – вхідним, операційним, приймальним, інспекційним і статистичним.

Контроль якості заготовок здійснюють універсальними, спеціальними; автоматизованими та автоматичними контрольними-вимірювальними засобами.

За ступенем впливу на виробничий процес контрольні засоби є пасивними та активними. За способом перетворення вхідних сигналів контрольні засоби поділяють на механічні, електричні, оптичні, магнітні, пневматичні; за видом вихідної інформації на аналого-цифрові, зображувальні, реєструвальні, сигналізаційні, регульовальні, з уніфікованими сигналами.

Методи неруйнівного контролю: МПК, люмінесцентний, УЗК, РДСК та ГДСК.

Найпоширеніші способи контролю: зовнішній огляд; перевірки форми та розмірів і якості поверхонь; механічні та технологічні випробування; рентгенівські випробування (дають змогу виявити внутрішні порожнини, тріщини, непроварювання, шлакові включення, шпаристість; випробування ультразвуком, магнітними полями; металографічний контроль.

Повний контроль заготовки здійснюють у послідовності:

– проводять зовнішній огляд;

– контролюють геометричні розміри;

– проводять контроль маси (зважування на вагах);

– виявляють об'ємні дефекти:

а) МПК (для заготовок з магнітних сплавів) виявляють поверхневі тріщини шириною більше 0,001 мм і внутрішні дефекти розміщені на глибині

до 2 мм. Заготовку намагнічують і покривають тонким шаром магнітного порошку. По створенню силових магнітних ліній, які виникають з магнітного порошку судять про розміри та форму дефектів;

б) РДСК та ГДСК – дефекти (тріщини, газові раковини, рихлість, пори) менше вбирають променів і дають півці темні плями. Це дозволяє визначити розміри дефекту і глибину його залягань;

в) УЗК, під час якого використовується здатність хвилі відбиватися від перешкод.

– контролюють на герметичність гідро- або пневмо випробуванням;

– проводять контроль хімічного складу методом хімічного або спектрального аналізу;

– контролюють структуру металу за допомогою макроскопічного (МаСА) або мікроскопічного (МіСА) аналізів. Під час МаСА розглядають неозброєним оком злам зразка. МіСА здійснюють металографічним мікроскопом (збільшення 100...500 раз) на спеціально приготовлених шліфах;

– останнім етапом є перевірка механічних властивостей.

У результаті контролю та випробувань виливки сортують на придатні, з поправними і непоправними дефектами. Придатні зразу ж надходять на механічну обробку або на склад. Зразки з поправними дефектами доопрацьовуються, якщо це можливо технічно і економічно доцільно, а із непоправними – на переплавлення.

До виправних дефектів відносять тріщини певних розмірів, жолоблення і газові раковини (у певних місцях, певних розмірів і в певній кількості). Їх можна усунути електро- або газозварюванням, металізацією, механічним зарівнюванням, декоративним замазуванням або просочуванням різними сполуками.

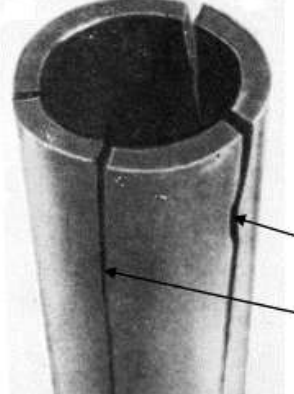
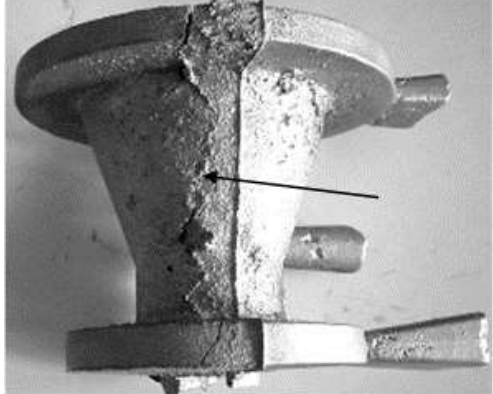


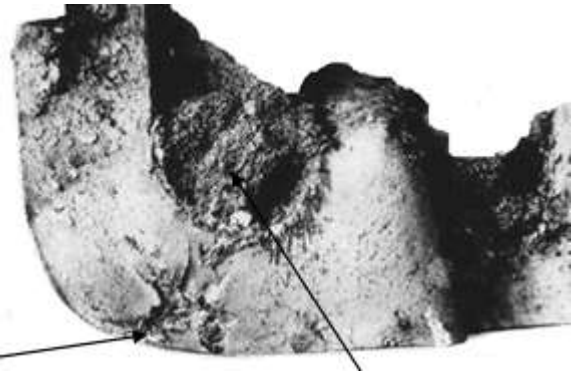
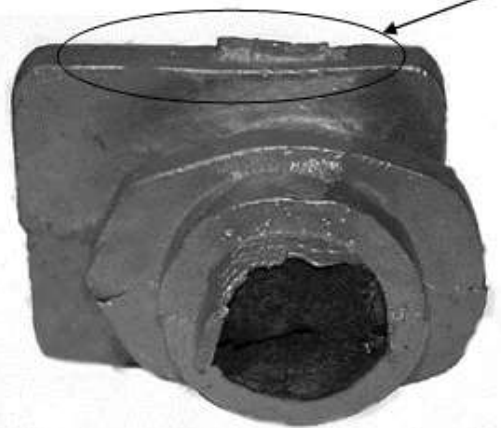
Дефектні місця, що підлягають заварюванню, готують до зварювання. Тріщини вирубують на всю глибину зубилами або висвердлюють. Раковина під заварювання повинна бути чашоподібна з пологими під кутом 35...40° стінками і відкритим дном. Технологія зварювання дефектів для різних матеріалів різна. Легко виправляються дефекти у заготовках з маловуглецевих сталей і деяких кольорових сплавів. Особливо складна технологія заварювання дефектів на чавунних виливках, оскільки зварюваність чавунів значно гірша. Оскільки нагрівання при зварюванні нерівномірне – то при неякісному зварюванні можуть утворюватися нові тріщини та інші дефекти.

Поліпшення зовнішнього вигляду у місцях, які не піддаються обробці різанням здійснюють декоративним виправленням. Для приготування замазок застосовують епоксидні смоли типу ЕД-5, ЕД-6. Після заповнення замазкою та її затвердіння дефектне місце виливки зачищають шліфуванням.

Пори виливки виправляють просочуванням з використанням таких матеріалів: бакелітові і асфальтові лаки, натуральна оліфа, рідке скло і етилсилікат. Просочують в спеціальних баках при температурі 150...200°C (рідке скло – 85...95°C) і під тиском 0,5...0,6 МПа. Тривалість просочування визначається товщиною стінок, розмірами пор і властивостями матеріалу яким просочують, середня тривалість 0,5...1,5 години). Для того щоб просочуваний

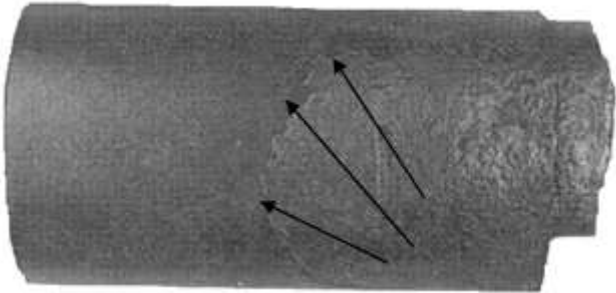
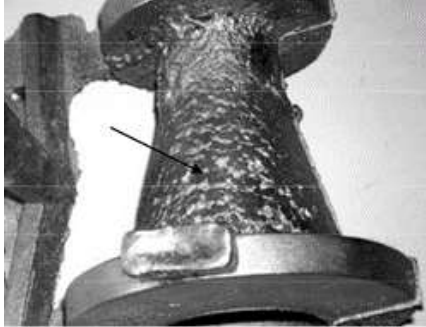
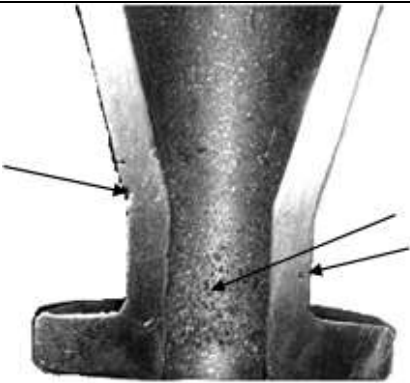



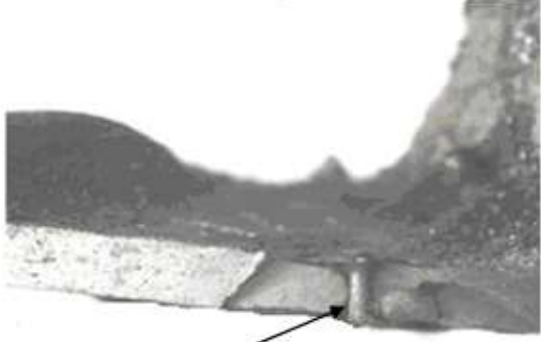
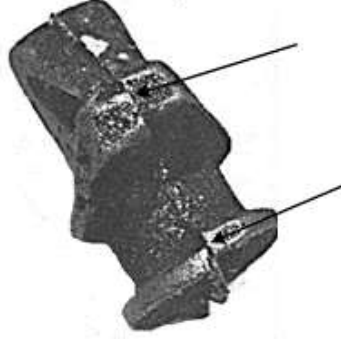
матеріал затвердів заготовки нагрівають до температури 125...175°C (рідке скло 100...110°C) і витримують 3...5 годин. Після виправлення дефектів заготовки повторно піддають контролю.

Таблиця 1.1 – Поширені дефекти заготовок

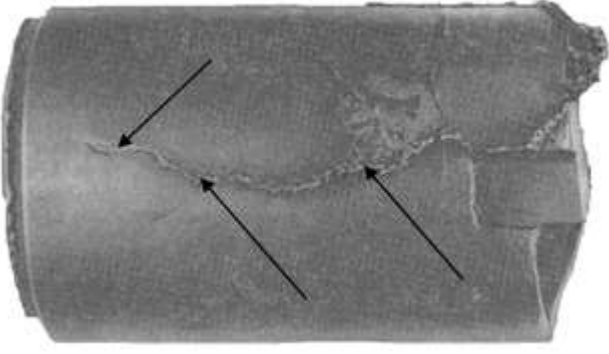

Зображення дефекту, назва	Зображення дефекту, назва
1	2
	
Холодна тріщина	Гаряча тріщина
	
Облой	Усадочна раковина
	
Пісчана раковина	Короблення



Продовження таблиці 1.1

1	2
	
<p>Пригар</p>	<p>«Груба» поверхня</p>
	
<p>Газова пористість</p>	<p>Спайка</p>
	
<p>Неспайка</p>	<p>Недолив</p>
	
<p>Непровар жеребійок</p>	<p>Перекос, зсув</p>

## Закінчення таблиці 1.1

1	2
	
Заусениці	Нарости

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ЗАГОТОВОК

### 2.1 Конструкційні матеріали та принципи їх вибору

Залежно від виду заготовки і способу її виготовлення до матеріалів заготовок ставляться різні вимоги, які можна поділити на загальні і часткові.

Загальні вимоги відносяться до матеріалів всіх заготовок, часткові – до матеріалу конкретного методу і способу виготовлення заготовок.

Загальні вимоги можна звести до таких:

– хімічний склад і структура матеріалу мають забезпечити стабільні, протягом всього терміну обробки і експлуатації заготовки, фізико-механічні і фізико-хімічні властивості;

– матеріал повинен мати потрібні технологічні властивості залежно від способу виготовлення заготовки (ливарні, кувальні, зварювальні);

– виробництво і переробка матеріалу не повинні супроводжуватися виділенням токсичних і шкідливих для життя речовин і не повинні погіршувати екологічного оточення;

– для виготовлення матеріалу мають використовуватися дешеві і недефіцитні складові частини;

– виготовлення і переробка матеріалу мають бути економічно доцільними.

Часткові вимоги до матеріалів заготовок визначаються, виходячи з умов конкретного методу виготовлення заготовки. Наприклад:

– матеріал для лиття повинен мати високу текучість у рідкому стані, низькі показники усадки і схильності до поглинання газів, ліквіації, прилипання до стінок ливарної форми, хорошу герметичність;

– матеріал заготовок, які виготовляються обробкою тиском, повинен мати високу пластичність, досить широкий температурний інтервал обробки тиском,

низьку схильність до окислення, прилипання до поверхні деформуючого інструменту.

Задоволення всіх вимог в умовах виробництва часто є нереальним завданням. Тому при виборі матеріалу заготовки звичайно задовольняються відповідністю матеріалу, до якої підпорядковують інші, другорядні для заданих умов. Це призводить до значного збільшення кількості матеріалів, що застосовуються в машинобудуванні для виготовлення заготовок. Кількість металів і їх сплавів, які сьогодні використовуються в промисловості згідно з діючими стандартами на хімічний склад, фізико-механічні властивості і сортамент, перевищує 400 назв (марок). Крім них в промисловості використовується значна кількість неметалевих матеріалів і порошків різних металів і неметалевих матеріалів з яких шляхом пресування і спікання отримують заготовки.

З металів і сплавів найпоширенішими для виготовлення заготовок є:

- вуглецеві сталі звичайної якості (Ст.0, Ст.1, ... Ст.6);
- сталі конструкційні, підвищеної і високої здатності до обробки різанням (А12, А20, ... А40Г);
- вуглецеві якісні конструкційні сталі (0,8, 15, 20, 25пс, ... 85);
- леговані конструкційні сталі (20Х...50Х, 18ХГ, 18ХГТ, 35ХМ, 30ХМА, 30ХН3А);
- інструментальні вуглецеві сталі (У7, ... У13, У13А, У8ГА);
- підшипникові сталі (ШХ15, ШХ15СГ);
- сталі зносостійкі в умовах абразивного тертя (110Г13Л);
- сталі теплостійкі (12МХ, 20Х1М1Ф1БР, 12Х8ВФ);
- сталі ливарні вуглецеві конструкційні (15Л, 20Л, ... 55Л);
- сталі ливарні леговані і високолеговані (20ГЛ, 35ГЛ, 30ГСЛ, 45ФЛ, 32ХОБЛ, 40ХЛ);
- чавун сірий (СЧ12, ... СЧ30);
- чавуни високоміцні (ВЧ38, ВЧ42, ВЧ120);
- чавуни антифрикційні (АЧС-4, АЧС-6, АЧК-2);
- чавуни жаростійкі (ЖЧХ2, ... ЖЧХ30, ЖЧС5Ш);
- чавуни модифіковані та леговані (ЧХ1, ЧХ2, ЧЮ4Ш);
- бронзи олов'янофосфорні (БрОФ10-1);
- бронзи олов'яні для обробки тиском (БрОФ7-0,2, БрОФ6,5-0,4);
- бронзи безолов'яні для обробки тиском (БрА5, БрАМц9-2);
- латуні ливарні (ЛА67-2,5, ЛАЖМц66-6-3-2, ЛС69-1);
- латуні для обробки тиском (Л68, Л63, ЛО62-1);
- алюмінієві сплави ливарні (АЛ-2, АЛ-4, АЛ-9, ... АЛ30);
- алюмінієві деформовані сплави (АМц, Д16, Д18, АК8, АК8-1);
- титанові сплави ливарні (ВТ5, ВТ5-1, ОТ4-0, ВТ6, ВТ8, ВТ9);
- магнієві деформовані сплави (МА1, МА2, МА5, ВМ65, ВМ65-1).

## 2.2 Вибір способу отримання заготовки

Вибір способу виготовлення заготовки вимагає розгляду можливих варіантів з детальним технічним та економічним обґрунтуванням вибраного методу. Для умов серійного та масового виробництва добір способу виготовлення заготовки має супроводжуватися необхідними розрахунками та обґрунтуваннями, в яких слід враховувати не тільки витрати на виготовлення заготовки, а й витрати на її подальшу обробку та експлуатацію готового виробу. Спосіб одержання заготовок залежить від:

- службового призначення деталі та вимог що до неї ставляться;
- конфігурації деталі та розмірів;
- виду конструкційного матеріалу;
- типу виробництва та інших факторів.

Здебільшого спосіб виготовлення заготовки призначають у послідовності:

- аналізують фактори, що впливають на вибір способу виготовлення заготовки;
- визначають матеріал і конструктивну форму заготовки;
- аналізують можливості отримання заготовки із стандартних частин, сортаментів, матеріалів, що випускаються промисловістю (періодичний, сортовий прокат, відливки, поковки);
- добирають спосіб виготовлення заготовки та основного устаткування;
- конструюють заготовку та розробляють технологічний процес її виготовлення;
- проводять техніко-економічні розрахунки та обґрунтування.

Зазвичай вибирають не один, а декілька альтернативних варіантів, для яких визначають техніко-економічні показники і на основі їхнього аналізу призначають найбільш раціональний.

Критеріями оптимізації для вибору способу виготовлення заготовки є якість деталі, продуктивність праці з урахуванням обробки різанням, вартість деталі чи технологічна трудомісткість її виготовлення; витрати матеріалу. Загальні рекомендації для попереднього вибору способу виготовлення заготовки у машинобудуванні є наступними:

- корпусні коробчасті заготовки закритої конструкції для всіх типів виробництва доцільно виготовляти литтям;
- корпусні заготовки відкритої конструкції для масового та серійного виробництва – литтям, а для дрібносерійного та одиничного виробництва – зварюванням;
- заготовки дисків, трийників, важелів, кришок, маточин, шківів, шестерень для масового та серійного виробництва отримують штампуванням, прокатуванням чи литтям, а для дрібносерійного та одиничного – литтям;
- заготовки валів, стаканів, втулок з невеликою різницею діаметрів окремих поверхонь для всіх типів виробництва виготовляють з прокату;
- заготовки балок, кронштейнів, рам, ферм, каркасів для всіх типів виробництва отримують зварюванням із сортового прокату;
- для крупносерійного та масового виробництва застосовують сортовий, періодичний та спеціальний прокат, тонкостінні гнуті профілі та лиття.

Вибір технологічного процесу одержання заготовки і методу її формоутворення **визначається факторами**:

а) *технологічною характеристикою матеріалу* (його властивостями, що визначають можливості лиття, пластичного деформування або зварювання);

б) *якісною характеристикою методу* (литі заготовки менше щільні, ніж отримані обробкою тиском), а також структурними змінами матеріалу в процесі формоутворення (розташування волокон в поковках, розмір зерна в литих заготовках);

в) *конструктивними формами і розмірами деталі* (чим більша деталь, тим дорожче обходиться оснащення і рентабельніше стає зварювання);

г) *програмним завданням* (у серійному, масовому виробництві вигідні методи, що забезпечують найбільше наближення форми і розмірів заготовки до форми і розмірів деталі: точне штампування, лиття під тиском);

д) *виробничими можливостями заготівельних цехів* (наявністю відповідного устаткування);

е) *часом на підготовку виробництва* (виготовлення штампів, моделей, прес-форм);

ж) *можливістю швидкого переналагодження устаткування і оснащення* (особливо важливо при роботі на перемінно-потоківих лініях, характерних для автоматизованого виробництва).

з) *механізацією та автоматизацією виробництва*. Головні задачі автоматизації заготівельного виробництва – максимальне підвищення продуктивності праці і точності заготовок. Легше всього піддаються автоматизації безупинні процеси (лиття труб і профілів, вальцювання заготовок, зварювання).

Щоб визначити оптимальні спосіб і технологію виготовлення заготовки, потрібно розглянути всі можливі варіанти виробництва: ливарне, ковальське, прокатне, зварювальне, порошкове. Рекомендується вибирати спосіб, що забезпечить якість і економічність виробництва та застосовувати ту технологію, яка вигідна у конкретному випадку.

### **2.3 Технологічність конструкцій і точність заготовок**

У процесі конструювання заготовки розглядають можливість максимального спрощення її конструкції; заміни матеріалу на дешевший та доступніший; забезпечення раціональних форми та розмірів, які б полегшили процеси обробки та забезпечили достатню якість, міцність, жорсткість; зменшення кількості та довжини оброблюваних поверхонь; проставлення розмірів з мінімальною довжиною розмірних ланцюгів; забезпечення мінімального жолоблення під час термообробки та постійних базових поверхонь.

*Рекомендації при конструюванні заготовки*: оброблювані поверхні не повинні бути суцільними та довгими; оброблювані поверхні потрібно розташовувати в одній площині; в східчастих отворах найбільш точну поверхню слід робити наскрізною; для свердління отворів необхідно

забезпечити можливість нормального (під прямим кутом до поверхні) входу та виходу свердла; уникати глухих отворів і розміщення осей отворів під гострими кутами; конструкція заготовки має забезпечувати простоту рознімання форми; поверхні, які перпендикулярні до площини рознімання форми повинні мати технологічні нахили; товщина стінок повинна бути однаковою або з плавними переходами; заготовки повинні мати мінімальну кількість поверхонь, що потребують обробки різанням; припуски та напуски повинні бути мінімальними; форма заготовки повинна забезпечувати можливість надійного її базування та закріплення на операціях механічної обробки, а також обробки з мінімальною кількістю переходів і установів.

*Технологічність відливок* забезпечується добором матеріалу та способом їх отримання, простотою форми, мінімальною кількістю стержнів, відсутністю зовнішніх стержнів і знімних частин, можливістю виконання внутрішніх порожнин без стержнів або з наявністю достатньої кількості вікон у стінках вилівка для їх закріплення. Співвідношення габаритних розмірів виливків, товщин стінок, радіусів заокруглень та нахилів мають бути в межах рекомендованих нормативних значень, а їх конструкція повинна допускати машинне формування, використання сталих ливарних форм, стандартних опок.

*Технологічність поковок*, що виготовляються вільним куванням та штампуванням, забезпечується відповідністю їх розмірів і маси до можливостей заводського устаткування та спорядження, співвідношенням розмірів поковок до вимог стандартів; простотою їх форми; мінімальною кількістю штампувальних ривчаків, можливістю використання універсальних і складаних штампів; відсутністю різких переходів між окремими поверхнями, потовщень.

*Технологічність зварних заготовок* забезпечується відповідністю матеріалів окремих частин заготовок до вимог зварюваності та отримання найменших внутрішніх напружень, узгодженістю конструкцій та розмірів зварних швів з вимогами загальної технологічності конструкції, мінімальною кількістю швів з накладанням матеріалів, мінімальною довжиною швів, надійністю взаємного базування окремих частин заготовки у процесі зварювання, вільним доступом до місць зварювання, можливістю використання автоматичного зварювання.

Умови забезпечення технологічності заготовок:

- конструкція заготовки повинна бути стандартною (типовою) або складатись зі стандартних елементів;
- вихідними заготовками доцільно призначати стандартні заготовки (прокат, виливки, поковки);
- базові поверхні повинні забезпечувати точність розташування та закріплення заготовок у процесі їх обробки, контролю та вимірювання;
- при механічній обробці заготовок необхідно використовувати стандартні (типові, групові) технологічні процеси.

*Технологічність заготовки визначається*: матеріалом, геометричною формою, розмірами та їх точністю, якістю поверхонь, заданими фізичними та механічними властивостями.

*Критерії технологічності конструкції заготовки:* простота конструкції, форми, розмірів та шорсткості поверхонь, їх допустимі відхилення, розміри базових поверхонь, доступність для виготовлення та механічної обробки поверхонь, жорсткість і можливість забезпечення необхідної стійкості до жолоблення в процесі термічної обробки, довжина та технологічна доцільність розмірних ланцюгів.

*Загальні показники технологічності:* матеріаломісткість, енергомісткість, трудомісткість, собівартість при виготовленні і обробці.

Оцінка технологічності деталей може бути якісною та кількісною. Кількісну оцінку технологічності конструкції заготовки проводять за наступними коефіцієнтами:

1. Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{B.M} = \frac{G_D}{G_3 + G_B},$$

де  $G_D$ ,  $G_3$ ,  $G_B$  – відповідно маса деталі, заготовки та відходів, кг.

Відходи складаються з суми витрат матеріалу на вигорання металу, [?]облой[?], [?]прибутки[?], ливникову систему, а також витрати матеріалу вихідних заготовок (прокату, прутка, листа, стрічки). Відходи матеріалу, утворені припусками на мехобробку, є складовою частиною маси заготовки.

2. Коефіцієнт точності маси заготовки

$$K_T = \frac{G_D}{G_3},$$

де  $G_D$  – маса деталі, кг;

$G_3$  – маса заготовки, кг.

3. Коефіцієнт виходу придатного металу

$$K_{П.М} = \frac{G_3}{G_{B.3}},$$

де  $G_{B.3}$  – маса вихідної заготовки, кг.

4. Трудомісткість проекрованої заготовки

$$T_{ПР} = T_T \sqrt[3]{(G_{ПР}/G_T)^2},$$

де  $T_T$  – трудомісткість типової заготовки, хв.;

$G_{ПР}$ ,  $G_T$  – маси проекрованої і типової заготовок, кг.

5. Коефіцієнт механічної обробки

$$K_{M.O} = \frac{T_{M.O}}{T_3},$$

де  $T_{M.O}$ ,  $T_3$  – трудомісткість обробки деталі і отримання заготовки, хв.

Чим менше це відношення, тим технологічніша заготовка.

6. Коефіцієнт конструктивної складності

$$K_c = \frac{2G_3}{\rho AS} \left( \frac{A}{B} + \frac{A}{C} + 1 \right),$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – відповідно найбільший середній і найменший габаритні розміри заготовки, м;

$\rho$  – питома маса матеріалу заготовки, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  – площа поверхні заготовки, м<sup>2</sup>.

Чим ближче значення коефіцієнта конструктивної складності до одиниці, тим технологічніша конструкція заготовки.

### 7. Коефіцієнт габаритності

$$K_G = \frac{V}{G_3},$$

де  $V$  – об'єм заготовки, визначений за її габаритами, м<sup>3</sup>.

Чим менший коефіцієнт габаритності, тим технологічніша конструкція заготовки.

Основні рекомендації для забезпечення технологічності конструкцій відливки:

- конструкція зовнішніх і внутрішніх контурів відливки має бути якомога простішою з мінімальним числом ребер, виступів і внутрішніх порожнин. Перевіряють цю вимогу методом тіней.

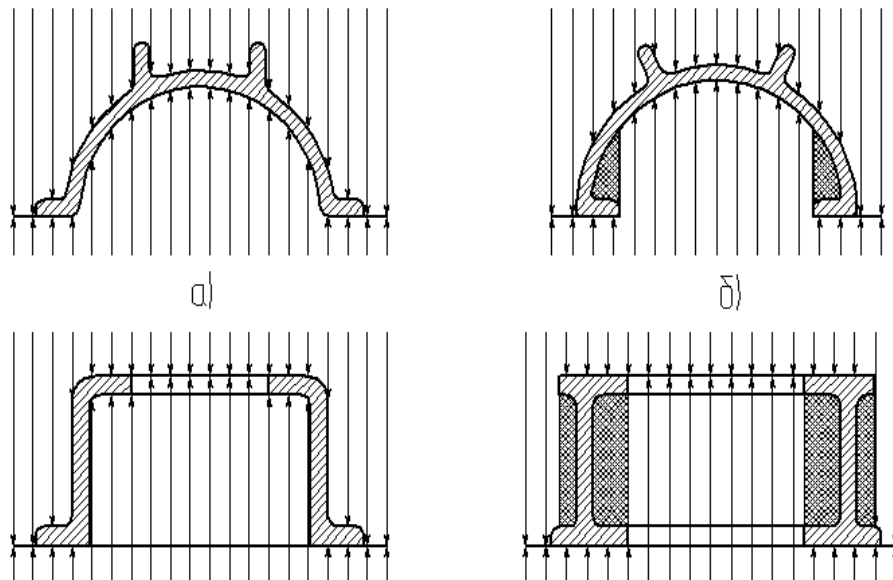


Рисунок 2.1 – Метод тіней: а) технологічні конструкції; б) нетехнологічні конструкції

- відливка повинна бути компактною. Надто крупні відливки бажано розділити на декілька дрібніших частин;

- бажано щоб габаритні розміри відливки були мінімальними, особливо по висоті, оскільки у протилежному випадку утруднюється процес виготовлення форми;

- конструкція відливки повинна дозволити виготовлення ливарної форми з мінімальним числом роз'ємів;

- конфігурація і розташування стержнів у формі повинні забезпечувати вільний вихід газів і стержнів;



- кількість стержнів у формі повинно бути мінімальним. Встановлення стержнів у формі на жеребійках небажано, оскільки жеребійки не завжди добре зварюються з основним металом.

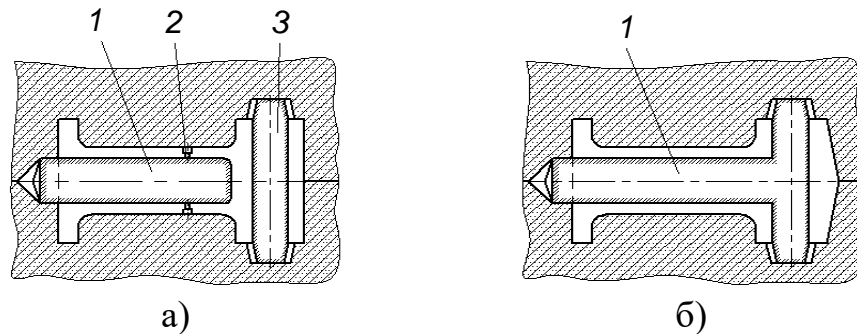


Рисунок 2.2 – Конструкція відливки кронштейна:  
а – нетехнологічно; б – технологічно:  
1, 3 – номери стержнів; 2 – жеребійка

- конструкція відливки повинна відповідати рівномірному або послідовно напрямленому затвердінню металу;

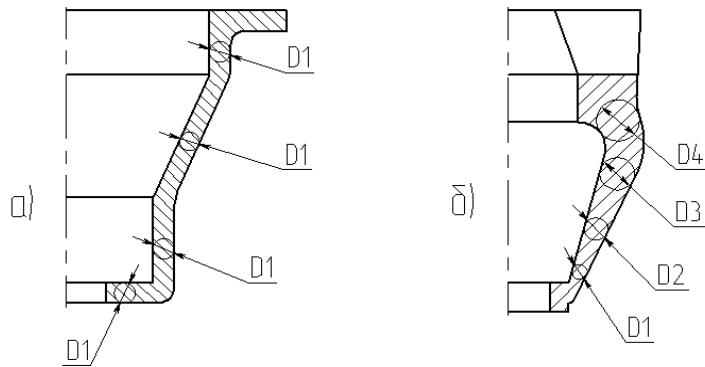


Рисунок 2.3 – Конструкції стінок відливки з рівномірним (а) ( $D1 = \text{const}$ ) та послідовно напрямленим (б) ( $D1 < D2 < D3 < D4$ ) твердненням металу

- конструкція відливки має зводити до мінімуму можливість виникнення напружень і тріщин. Для вирівнювання швидкості охолодження відливки в усіх перерізах передбачають плавні переходи між ними, ребра жорсткості в небезпечних перерізах, потовщення країв виливків і вікон;

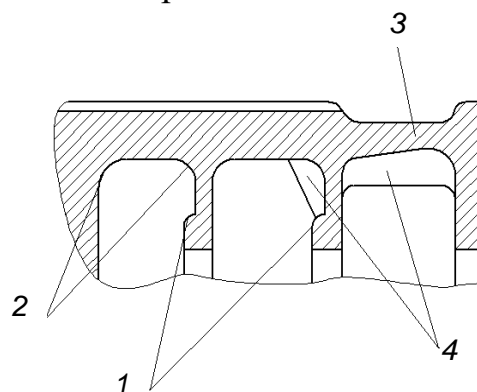


Рисунок 2.4 – Конструктивні елементи відливки:  
1 – відбортування стінок по контуру вікон; 2 – збільшені радіуси;  
3 – плавний перехід від товстої стінки до тонкої; 4 – ребра жорсткості

- для зменшення скупчення металу кількість елементів, з'єднаних в одній точці, слід звести до мінімуму. Хрестоподібних перерізів слід уникати, замінюючи їх Т-подібними. У місцях скупчення металу доцільно виконувати спеціальні отвори, які зменшують масу заготовки;

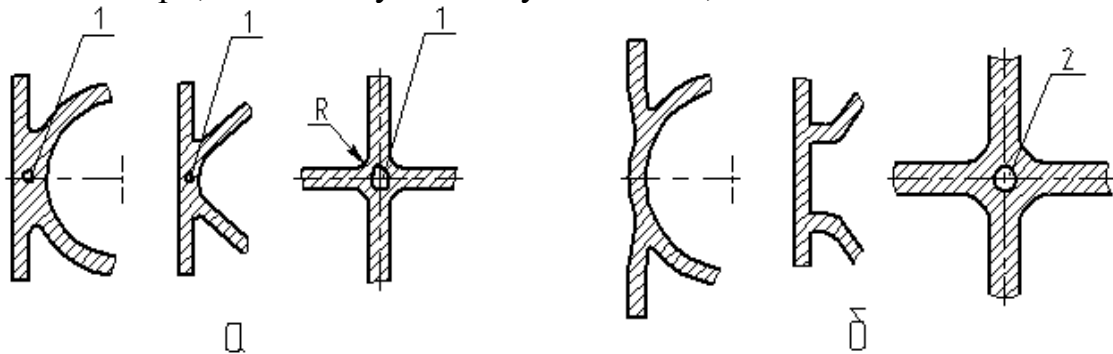


Рисунок 2.5 – К-подібні та хрестоподібні спряження стінок:  
а – не технологічно; б – технологічно: 1 – усадкова рихлість; 2 – розвантажувальні отвори

- конструкція відливки має забезпечувати один, переважно прямолінійний роз'єм і сприяти механізації процесів виготовлення форм і стержнів;

- товщина зовнішніх ребер жорсткості не повинна перевищувати 0,8; а внутрішніх – 0,6 товщини стінки, з якою вони з'єднуються. Ребрам необхідно надати можливість вільно деформуватись при усадці металу, тому їх треба розташовувати перпендикулярно до площини роз'єму форми;

- для зменшення усадкових напружень в стінках відливки, особливо в стінках великої протяжності, необхідно передбачати вікна (отвори) круглої чи овальної форми;

- конструкція відливки не повинна допускати перетинання теплових потоків. Для поліпшення тепловідведення передбачають відповідні радіуси заокруглення або усадкові ребра;

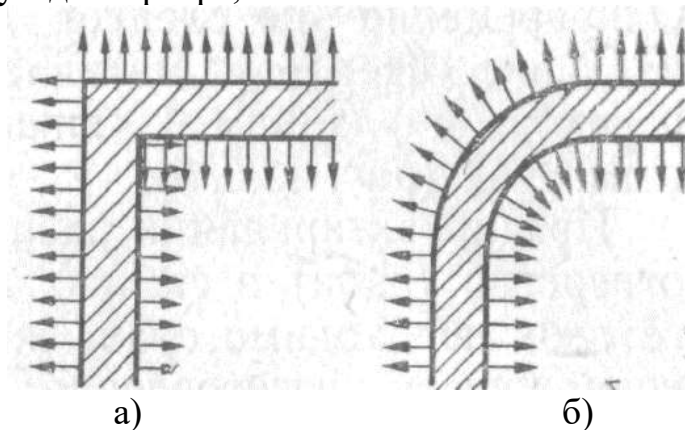


Рисунок 2.6 – Приклад уникання перетину теплових потоків:  
а – не технологічно; б – технологічно

- конструкція відливки має забезпечувати мінімальну кількість і протяжність місць обрубання та очищення, зручність їх виконання, зручність і мінімальний обсяг наступної механічної обробки.

- технологічна конструкція поковки повинна вписуватись у просту геометричну фігуру.

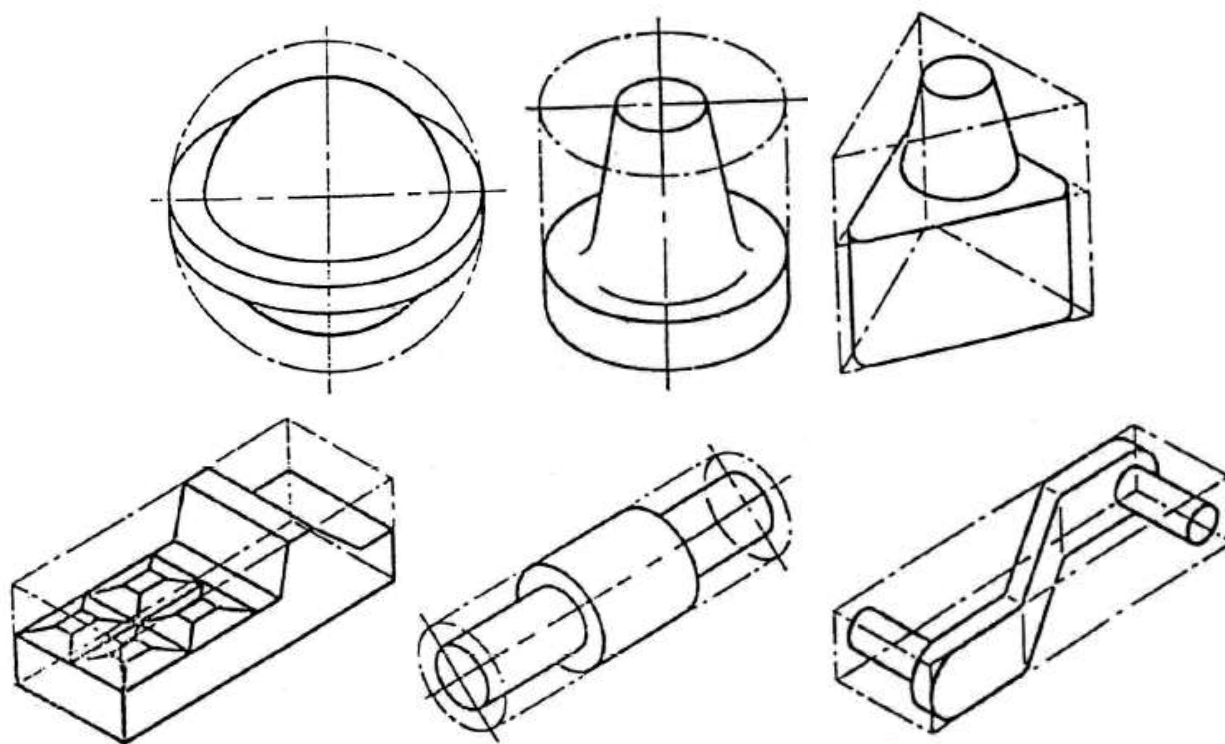


Рисунок 2.7 – Приклад фігур описаних навколо поковки (штампівки)

Призначаючи площину роз'єму штампа потрібно забезпечити добре заповнення форми металом у процесі деформування, належний напрямок волокон у структурі металу, мінімальні напуски та припуски на наступну механічну обробку, вільний вихід поковки із штампа, мінімальну кількість технологічних переходів.

Площина рознімання (рис.2.8) штампа для *кулі* може проходити тільки через діаметральний перетин фігури 1. Усі інші способи розташування площини рознімання штампа вимагають значних напусків і спотворюють форму поковки.

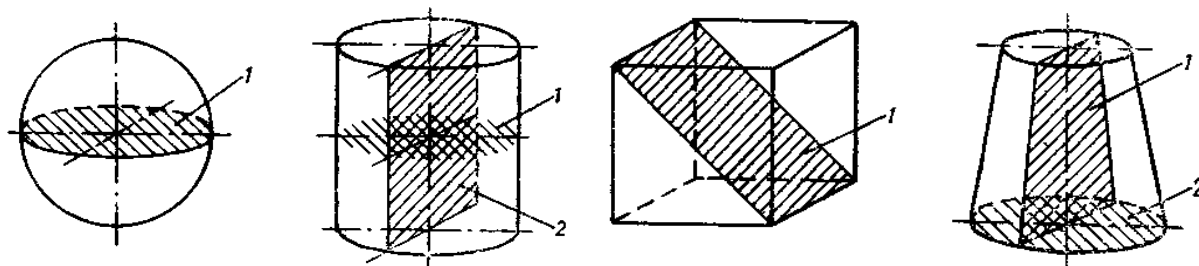


Рисунок 2.8 – Приклад технологічних площин роз'єму штампа

Для *куба* найдоцільніше прийняти площину 1, що потребує напусків тільки для двох бічних трикутних поверхонь.

Для *циліндрів* значної довжини доцільно прийняти площину 2, а для *циліндрів* незначної довжини площину 1. У першому випадку напуски потрібні тільки для торцевих поверхонь, а у другому невеликі напуски потрібні на

циліндричній поверхні. Для *зрізаного конуса* можливі два варіанти. Площину 2 приймають тоді, коли кут конуса достатньо великий для виймання поковки зі штампа, а площину 1 для конусів з малими кутами (напуски на торцевих поверхнях).

Для дрібних поковок більш вигідне штампування двох і більше заготовок в одній поковці з наступним розрізанням (рис. 2.9). Праві і ліві деталі по можливості слід конструювати так, щоб їх можна було виготовляти з однієї і тієї ж заготовки (рис. 2.10).

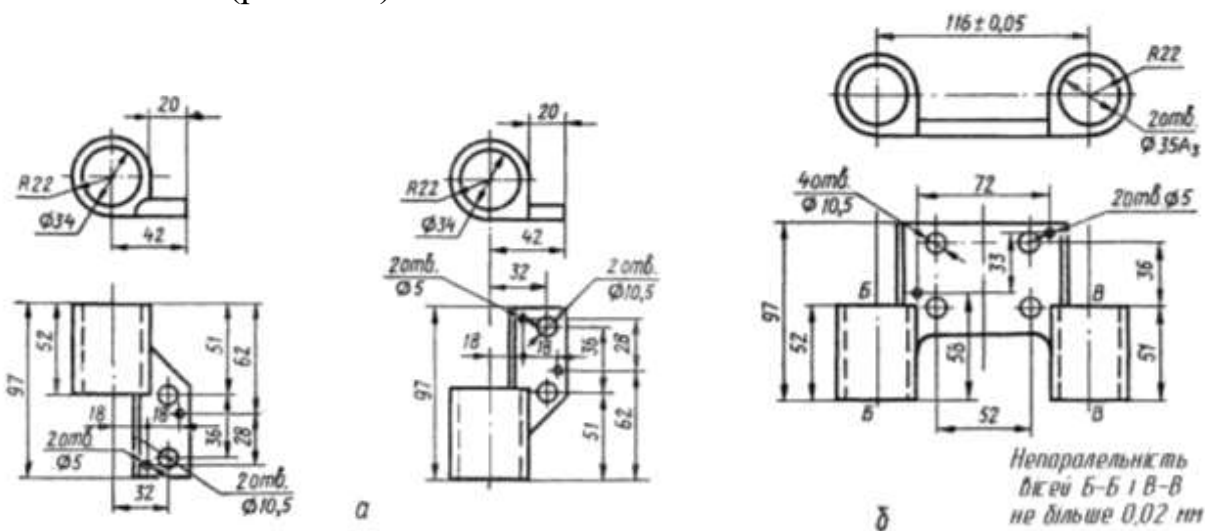


Рисунок 2.9 – Приклад суміщеного штампування заготовки

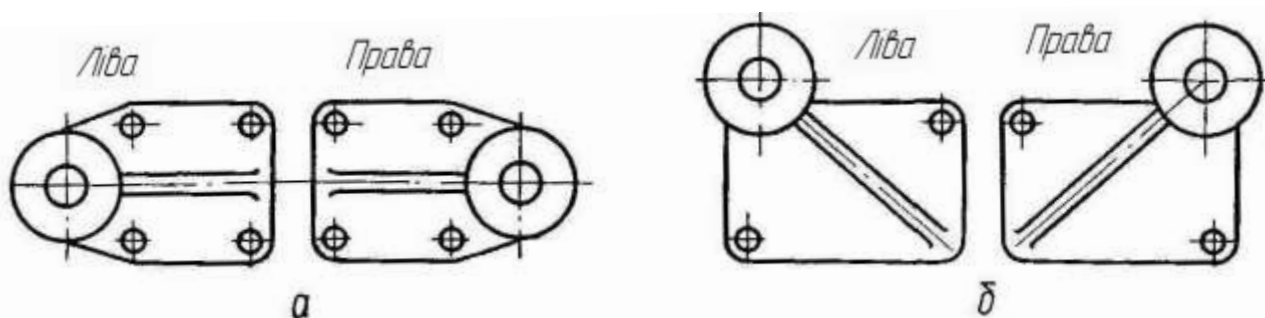


Рисунок 2.10 – Раціональна (а) і нераціональна (б) конструкція правих і лівих заготовок деталей

В кожному із методів отримання заготовки є значна кількість технологічних способів, які застосовуються в залежності від багатьох факторів - типу конструкційного матеріалу, маси та розмірів деталі, характеру виробництва, можливостей підприємства тощо.

*Точність розмірів.* Цей показник характеризується відхиленням дійсних розмірів заготовки від заданих на кресленні і визначається *класом розмірної точності*. У заготівельному виробництві встановлено 22 класи розмірної точності. Чим більший номер класу розмірної точності, тим нижча точність, тобто більші відхилення реальних розмірів від заданих (класи розмірної точності 1, 2, 3т, 3, 4, 5т, 5...22).

*Шорсткість поверхні.* Цей показник передбачає шорсткості поверхонь від  $Ra = 2 \dots 100$  мкм (для ступенів точності поверхонь від 1...17) і шорсткості  $Rz = 500 \dots 1000$  мкм (для ступенів точності поверхонь від 18...22). Точність вважається тим вищою, чим менша шорсткість.

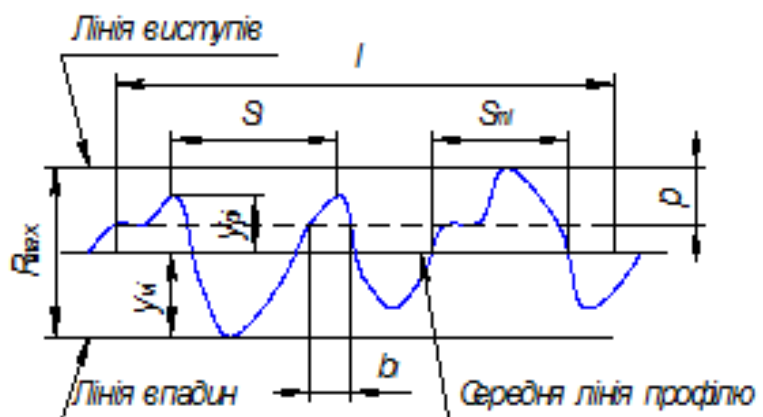


Рисунок 2.11 – Основні параметри шорсткості

*Припуски на обробку.* Припуском називається шар металу, який знімається з поверхні заготовки при її механічній обробці. Чим менший припуск, тим вища точність заготовки.

*Напуски.* Напуском називають надлишок матеріалу на поверхні заготовки, зумовлений технологічними вимогами спрощення конфігурації заготовки для поліпшення умов її виготовлення. Переважно напуск знімають з поверхні в процесі її механічної обробки або залишають в деталі (ливарні та штампувальні нахили, радіуси заокруглень).

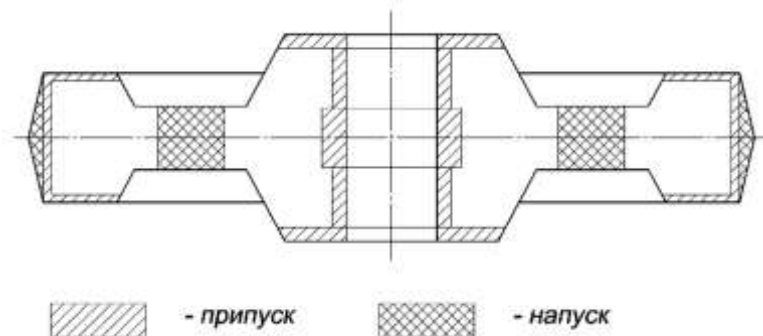


Рисунок 2.12 – Припуски на обробку та напуски заготовки

## 3 ЗАГОТІВЕЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

### 3.1 Спорядження ливарних дільниць

Механізація ливарного виробництва – це основний спосіб зменшення трудомісткості та підвищення якості відливок, продуктивності та поліпшення умов праці. Зазвичай капіталовкладення в устаткування та спорядження

ливарних цехів і дільниць дуже швидко окупляться.

Однак найпоширенішими є засоби механізації та автоматизації окремих операцій ливарного виробництва. До них належать найбільш трудомісткі та шкідливі для здоров'я працюючих операції приготування, транспортування та набивання формувальних і стержневих сумішей; відокремлення їх від відливок, транспортування та переробка відпрацьованих сумішей; приготування та транспортування шихтових матеріалів, розплавленого металу, відокремлення відливок від ливникової системи, [?]прибутків[/?] і залишків формувальних і стержневих сумішей, відведення, транспортування та зберігання відходів ливарного виробництва.

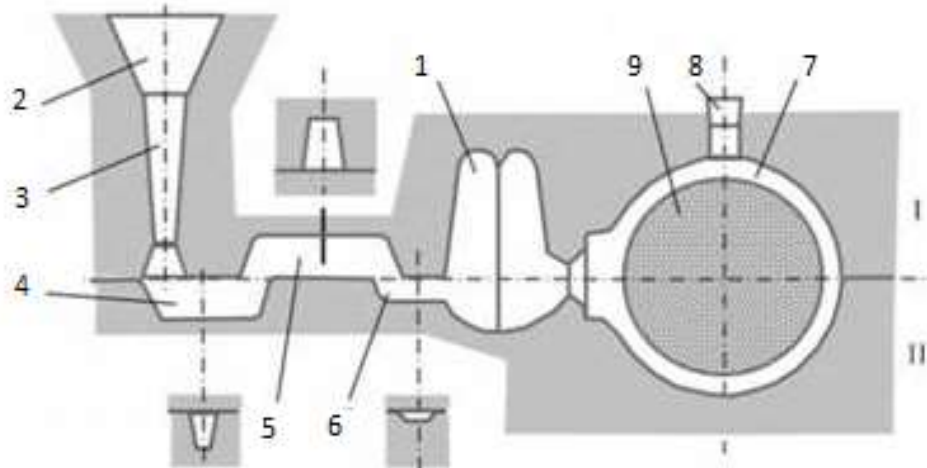


Рисунок 3.1 – Принципова схема ливарної форми:

- 1 – прибуток; 2 – ливникова чаша; 3 – стояк; 4 – зумф;  
5 – шлаковловлювач; 6 – живильник; 7 – робоча порожнина форми;  
8 – випар; 9 – стержень; I – верхня опока; II – нижня опока

*Устаткування для приготування формувальних і стержневих сумішей.*  
Формувальні та стержневі машини – призначені для механізації процесів ущільнення форм і стержневих ящиків, процесів відокремлення моделей і стержнів. За способом ущільнення суміші ці машини поділяють на пресові, струшувальні, піскодувні та піскострільні. За способами відокремлення моделі від зібраної форми (в одній опоці) розрізняють машини зі штифтовим підйманням, з витягуванням моделі та з обертанням форм на  $180^\circ$ . За типами приводів машини бувають пневматичні, гідравлічні, механічні та електромагнітні. За способом агрегування формувальні машини є одно- та багатопозиційні, з верхнім та нижнім розташуванням пресового циліндра. Траверси пресових машин поділяють на нерухомі, обертові з консольною та двоопорною балками, з візковою платформою.

Струшувальні машини за ступенем амортизації бувають без амортизації, з повною та частковою амортизацією. Для ущільнення ливарних форм застосовують машини з одночасним пресуванням і струшуванням сумішей. Нагнітальні машини за принципом дії поділяють на поршневі, ротаційні, відцентрові та осьові. Вентилятори, що створюють розріджене повітря, називають ексгаустерами, а компресори – вакуум-помпами. Для малих і

середніх подач (до 2 м<sup>3</sup>/с) і перепадів тиску використовують поршневі компресори, а для великих подач і середніх тисків – турбокомпресори. Робочий тиск для живлення пневмосистем у ливарних цехах підтримують у межах 6...8 МПа.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд формувальних машин ливарного виробництва

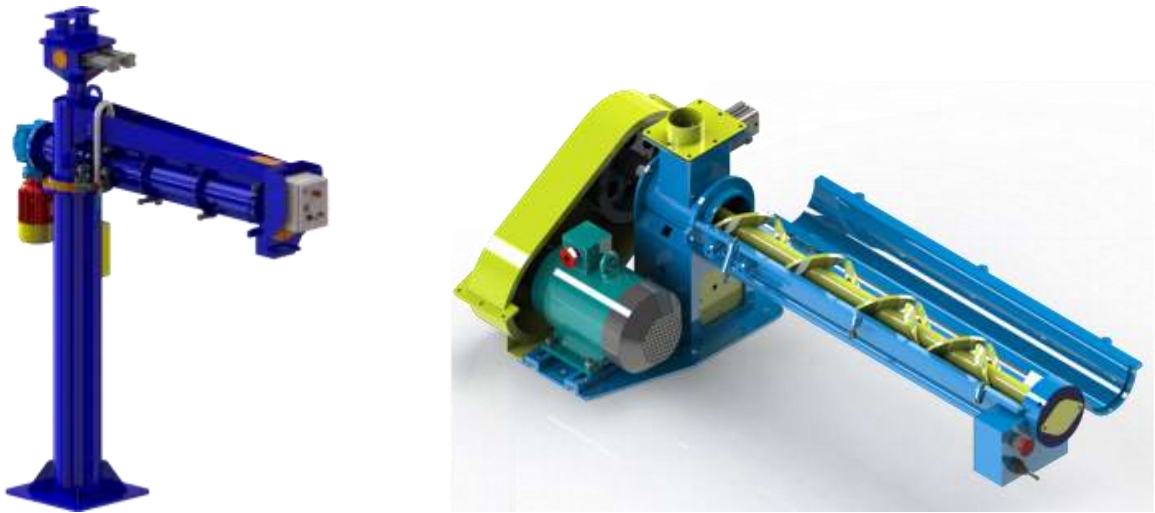


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд стержневих машин ливарного виробництва

Для приготування та зберігання готових сумішей склади ливарних дільниць і цехів обладнують спеціальними машинами, що можуть виконувати необхідні технологічні операції (просіювання, сушіння, розминання, подрібнення, розмелювання, відокремлення металевих частинок, охолодження, зволоження, гомогенізації, продування повітрям, змішування та аерації).

Стержневі суміші готують здебільшого зі свіжих формувальних матеріалів, з для виготовлення формувальних сумішей використовують відпрацьовані суміші, частка яких залежить від потрібної якості відливок і матеріалів, з яких їх виготовляють.

Для виконання окремих операцій приготування, транспортування та зберігання сумішей застосовують бункери з затворами, живильниками та дозаторами; конвеєри (стрічкові та гвинтові) та елеватори; пневматичні транспортери для транспортування глини та вугілля; фільтри; трубопроводи; помпи; розвантажувальні циклони; сушарки; млини (кульові, молоткові, вібраційні та бігункові); подрібнювачі (валкові, молоткові та шоківі); електромагнітні залізовідокремлювачі (сепаратори); сита (барабанні та вібраційні); змішувачі (бігункові, маятникові, чашкові, лопаткові, гвинтові, барабанні та пропелерні), розпушувачі та аератори.

Устаткування для приготування сумішей здебільшого встановлюють стаціонарно. Але для дрібносерійного виробництва часто застосовують пересувне устаткування на колесах чи таке, що може швидко перевстановлюватись за допомогою кранового обладнання.

*Модельні комплекти, опоки та формувальний інструмент.* Модельний комплект складається з моделі відливки чи шаблонів для виготовлення форми, моделей елементів ливникової системи, стержневих ящиків, підмодельних плит, кондукторів. Залежно від способу виготовлення відливки та його конфігурації окремі частини модельного комплекту можуть бути відсутні, їх склад і конструкція залежать від матеріалу відливки, розмірів і складності її форми, серійності виробництва, способу лиття.



За матеріалом відливок розрізняють моделі для чавунного, сталевого та лиття кольорових металів. За способом виготовлення ливарних форм моделі бувають для ручного та машинного формування. За використовуваними матеріалами моделі поділяють на дерев'яні, металеві, гіпсові, цементні, залізобетонні, пластмасові, комбіновані. За конструкцією розрізняють моделі: рознімні, не рознімні, скелетні, шаблонні, із знімними частинами.

Опоки – це скриньки, з яких складають форму для лиття. Залежно від габаритів їх поділяють на малі, середні та великі, а за матеріалом, з якого вони виготовлені – на чавунні, сталеві чи алюмінієві.

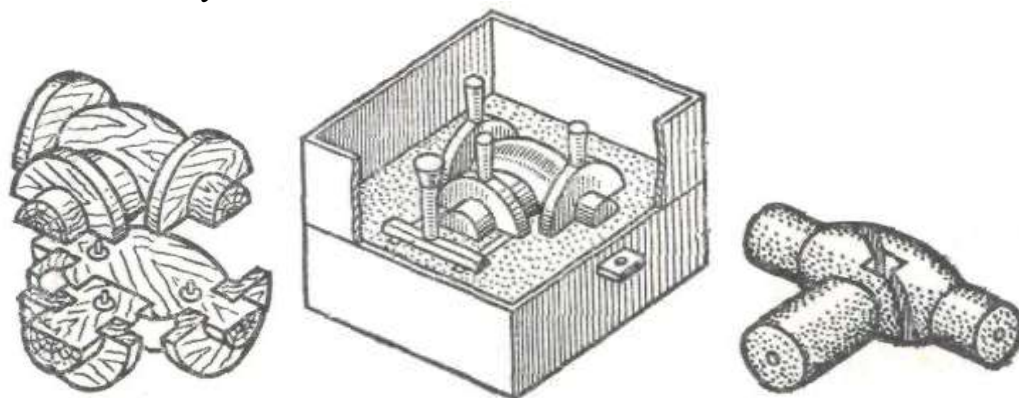


Рисунок 3.4 – Елементи модельного комплекту

Формувальний інструмент умовно ділять на дві групи: інструменти для наповнювання опок і стержневих ящиків сумішшю (лопати, лінійки, ручні та пневматичні трамбівки); інструмент для виймання моделі з порожнини форми та оброблення поверхонь форм і стержнів (гачки, підіймачі, ложки).

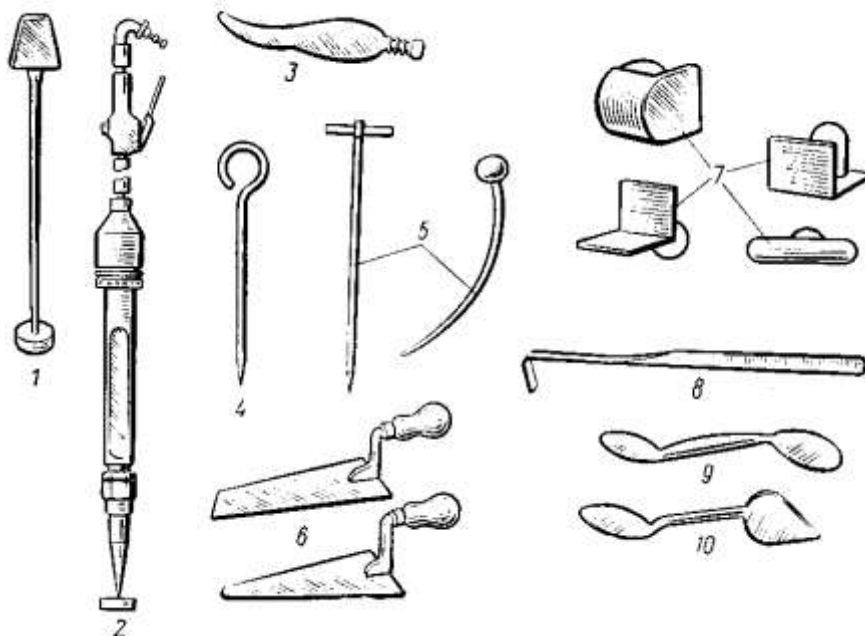


Рисунок 3.5 – Формувальний інструмент:

- 1, 2 – ручна та пневматичні трамбівки; 3 – квач для фарбування форми;  
 4 – підіймач для видалення моделі з форми; 5 – голки для пробивання суміші з метою вентиляції форми; 6, 7 – плоскі та фасонні гладилки; 8 – гачок;  
 9 – ложка; 10 – ланцет

*Устаткування плавильних дільниць і цехів.* Плавильні цехи мають здебільшого плавильні, шихтові, розливальні та очисні дільниці. Плавильні печі та агрегати – найбільш складне та потужне устаткування, яке іноді містить багато машин, агрегатів і механізмів, обладнаних єдиною системою керування, що має за мету виготовлення високоякісного рідкого сплаву. Рідкий сплав готують шляхом плавлення шихтових матеріалів підібраного складу у спеціальних печах і агрегатах, що забезпечують відповідні умови для отримання необхідного матеріалу заданої якості.

Сталеві сплави здебільшого виготовляють в електричних дугових печах; чавун – у вагранках і електричних індукційних печах, кольорові метали та їх сплави – в електричних і пломневих печах.

Добір способу виготовлення сплаву та його заливання у форми має вирішальне значення для забезпечення заданої якості відливок, їх енергомісткості та вартості. Спосіб розплавки металів, використовуваний вид енергії для розігрівання шихти, її склад і хід процесів горіння часто визначають не тільки якість металу, а й чистоту докільця.

Індукційні печі та агрегати, як і більшість електричних печей, є відносно чистими і найбільш універсальними агрегатами плавки металів та їх сплавів. За місцем розташування металу в печі, в якій виникають вихрові струми, індукційні плавильні печі поділяють на каналні та тиглеві. У каналних індукційних печах виникнення вихрових струмів і виділення теплової енергії відбувається у металі, який перебуває у спеціальному каналі та утворює кільце довкола магнітопроводу з індуктором, а звідти перетікає по каналі у спеціальну ємність.

У тиглевих печах індуктор розташований навколо тигля, що виконує функцію ємності, а виділення теплової енергії вихровими струмами відбувається безпосередньо в тиглі. Розтоплений метал в обох печах переміщується внаслідок дії магнітного поля. Порівняно з тиглевими каналні печі мають вищий К.К.Д. (на 20...30%), нижчий коефіцієнт вигорання металу, вони дешевші та потребують менших виробничих площ. Ці переваги зумовили їх більш широке використання.

Канальні та тиглеві індукційні печі застосовують як плавильні печі, міксери – для накопичення та витримання сплавів при заданій температурі, роздавальні печі – для розливання рідкого металу у форми. Індукційні печі здебільшого використовують для виготовлення високоякісних чавунів, кольорових металів і спеціальних сталей.

Для утворення високоякісних сталей та спеціальних сплавів з мінімальними газовими та неметалевими домішками застосовують вакуумні індукційні печі. За режимом роботи ці печі поділяють на дві групи:

- печі періодичної дії, в яких операції завантаження шихти, встановлення форм і каналів для лиття, очищення та підготування печі до наступної плавки проводять після їх розгерметизації;

- печі напівбезперервної дії в яких усі ці операції проводять без розгерметизації.

Печі другої групи обладнують додатковими шлюзовими камерами для

завантаження та розвантаження форм і каналів для лиття.

Електродугові печі працюють в основному від змінного струму. Використання змінного струму дозволяє плавити вуглецеву, леговану сталь, а також тугоплавкі метали. Електродугові печі мають місткість від 0,5 до 200 тон. Усі вони трифазові, триелектродні з круглою ванною. Метал у ваннах перемішується за допомогою спеціальних електромагнітних пристроїв.



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд індукційних плавильних печей

Для плавки високоякісних і вогнетривких сталей, титану та його сплавів застосовують вакуумні дугові печі. Плавка металів у вакуумі забезпечує високий ступінь очищення їх від газів та інших домішок. Це підвищує втомну міцність, зносостійкість і вогнетривкість відливок. Сплави на основі титану, молибдену та ніобію в рідкому стані хімічно дуже активні, тому їх плавлять тільки у вакуумних печах.

Печі для електрошлакового лиття застосовують як для виготовлення відливок, які підлягають подальшій обробці (прокатування, кування) і для виготовлення заготовок крупногабаритних деталей масою до 60 т. Для

виготовлення відливок складної конфігурації та значних розмірів застосовують технологію доплавки, яка поєднує електрошлакове лиття з електрошлаковим зварюванням. Застосування печей електрошлакової плавки для заливання рідкого металу у кокіль дає змогу значно підвищити їх стійкість, оскільки шлак, потрапляючи на поверхню кокіля, створює на теплоізоляційний шар, також немає потреби покриття поверхонь кокілів.

Електронно-променеві та плазмово-дугові печі застосовують для виготовлення відливок на основі нікелю, кобальту, тугоплавких металів, а також спеціальних сталей. У цих печах отримують відливки круглого, квадратного та прямокутного перетинів значних розмірів, монолітних кілець і труб великого діаметра, а також металевих гранул. Перевагою є високий ступінь їх чистоти та однорідності. Недоліком – порівняно висока вартість.

*Устаткування для складів.* Як правило обладнання складів шихти, плавильних і розливальних дільниць складається з вагранок, електричних печей, мостових магнітних кранів, конвеєрів, бункерів, підіймачів, елеваторів, відцентрових і поршневих вентиляторів для піддування вагранок, розливальних ковшів зі засобами механізації та автоматизації керування. Крім вказаного устаткування ці дільниці обладнують вибивними ґратками (механічними, пневматичними), коромислами та індивідуальними накладними вібраторами. Для вибивання стержнів застосовують пневматичні, вібраційні та гідравлічні машини.

Очищення відливок від ливникової системи та прибутків здійснюють за допомогою молотків, стрічкових і дискових пилок, гідравлічних пресів, піско- та шротометних машин, галтувальних барабанів із шротометними пристроями та абразивами, шліфувальних верстатів (стаціонарних, маятникових, переносних).

Для очищення повітря цехів і дільниць використовують відсмоктувальні кожухи з решітками, мокрі фільтри, циклони, інерційні пиловідокремлювачі та тканинні рукавні фільтри.

### **3.2 Устаткування ковальсько-штампувальних цехів**

Класифікацію та маркування основного технологічного устаткування здійснюють згідно з його призначенням та виконуваними функціями за допомогою літеро-цифрових позначень: А – автомати; Б – преси брикетувальні та пакетувальні; В – машини кувальні; Г – обладнання гідравлічне; Д – преси гідравлічні для неметалевих матеріалів; И – машини вигинальні та простувальні; К – преси кривошипні; Н – ножиці та холоднолами; П – преси гідравлічні для металу; С – вальці кувальні; Ф – преси гвинтові, важільні та рейкові. Цифри визначають технічні параметри обладнання.

*Устаткування для кування та штампування.* Для виконання операцій вільного кування застосовують молоти та преси. Основним параметром молотів є маса падаючих частин, до яких відносять поршень, шток, бабку та верхній бойок. Деформування металу на молотах простої дії забезпечується дією тільки маси вільно падаючих частин, а на молотах подвійної дії – додатковим



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд основного устаткування ковальсько-штампувальних цехів

прискоренням падаючих частин дією стисненого повітря чи водяної пари. Малі поковки (масою до 10 кг) виготовляють на пневматичних молотах з масою падаючих частин від 100 до 1000 кг, середні (масою до 2000 кг) – на пароповітряних молотах з масою падаючих частин від 1000 до 8000 кг, а великі масою понад 2000 кг – на гідравлічних пресах зусиллям від 5 до 150 МН і більше.

Для виконання операцій штампування поковок застосовують:

- молоти (штампувальні, пневматичні, пароповітряні, листоштампувальні, високошвидкісні, вибухові, фрикційні, гідравлічні);

- преси (гвинтові, електрогвинтові, гідрогвинтові, гарячощтампувальні, гідравлічні, пневматичні, електромагнітні, багатоплунжерні, кривошипні (з одним, двома та чотирма кривошипними механізмами, відкриті та закриті, простої та подвійної дії, нахилені та ненахилені), листоштампувальні, координатно-револьверні, листовигинальні, універсально-вигинальні, карбувальні, холодновисаджувальні, обрізувальні, холодноштампувальні багатопозиційні, різенакатувальні, для пресування кераміки та металевих порошків, пакетувальні та брикетувальні);

- спеціальні машини (горизонтально-кувальні, вертикально-кувальні, радіально-кувальні, ротаційні (листо- та профілевигинальні), обтискувальні, зубонакатні, електровисаджувальні, вигинально-штампувальні, імпульсно-штампувальні (гідравлічні, вибухові, електричні); для комбінованого штампування;

- ножиці (з паралельними, нахиленими (гільйотинними) та дисковими ножами, кривошипні, вібраційні, штампувальні, пресувальні).

У ковальських цехах для нагрівання заготовок застосовують печі періодичної дії, одно-, двокамерні, щілинні, з висувним дном, шахтові. Для безокислювального нагрівання застосовують нагрівання в атмосфері неповного згоряння палива (за недостатньої кількості кисню). Найкращі умови для нагрівання заготовок створюють електричні нагрівачі (контактні, індукційні, електролітні).

*Устаткування для очищення поковок.* Для виконання операцій очищення поковок застосовують шротоструменеву обробку в спеціальних барабанах, галтування в обертових барабанах з абразивними та металевими елементами, витравлювання в кислотних ваннах. Поковки великих розмірів очищують спеціальними очищувальними агрегатами зі сталевими щітками, абразивними кругами.

*Транспортно-завантажувальне устаткування.* Для транспортування заготовок застосовують бункерні, орієнтувальні, видавальні, транспортувальні та завантажувальні пристрої; захватні механізми, відсікачі, виштовхувачі, склізи, стелажі, магазини; кліщові, шибєрні, грейферні та револьверні механізми; механічні руки, маніпулятори, роботи; рейкові та підвісні кантувальники; намотувальні, розмотувальні та виправні пристрої; штабо- та листоскладальні машини; обертові крани, підвісні конвеєри, роботи.

### 3.3 Оснащення для виробництва вихідних заготовок

Вихідні заготовки є простими за геометричною формою фігурами з невисокою якістю поверхонь, які можна отримати без значних матеріальних і трудових затрат.

Для забезпечення високої якості заготовки під час їх виготовлення піддають двом і більше етапам переробки. Відливки часто служать заготовками для виготовлення поковок, які отримують способами вільного кування, штампування, вальцювання, прокатування, протягування, пресування, витискання. А отримані таким способом поковки можуть піддаватися повторній обробці тиском для виготовлення більш складних чи якісних поковок. Найбільш розповсюдженими вихідними заготовками є сортовий та спеціальний прокат і відливки. Оскільки вихідні заготовки піддаються подальшій обробці то для їх отримання використовують найдешевші заготовки (гарячекатаний прокат і відливки), які не потребують складного та дорогого технологічного процесу виготовлення.

*Технологічні процеси та основне устаткування для виготовлення вихідних заготовок.* Великі виливки ділять на частини за допомогою операцій кування, а виливки з легованих сталей – порізки пилами.

Вихідні заготовки у вигляді відливок виготовляють за технологічними процесами лиття в піщано-глиняні форми, відцентрове лиття, в кокіль та інші способи формування відливок зі сталей та кольорових сплавів, які добре піддаються обробці тиском. Тому у разі використання відливок як вихідних заготовок для поковок потрібно, щоб матеріали заготовок одночасно відповідали вимогам, що ставляться як до відливок так і до поковок. Це обмежує кількість марок матеріалів, з яких можна отримати заготовки.

Широко застосовують для виготовлення вихідних заготовок сортовий та спеціальний прокат. У цьому випадку технологічні процеси виготовлення вихідних заготовок полягають у відокремленні частин прокату шляхом відрізування, розрізування, відламування, штампування.

У ковальсько-штампувальних цехах виготовляють вихідні заготовки зі сортового та спеціального прокату за допомогою універсальних і спеціальних ножиць, штампів, холодноламів, шляхом механічної обробки, газового, плазмового, анодно-механічного, електроіскрового різання.

*Відрізування ножицями або в штампах* виконують на устаткуванні з кривошипним, ексцентриковим чи кулачковим, приводом. Кривошипні преси служать для відрізування прокату листа, штаби, квадрату, круга, шестикутника з поперечним січенням до 20 мм, а ексцентрикові – до 200 мм. Застосування штампів для відокремлення вихідних заготовок забезпечує кращу якість поверхонь відрізки та вищу продуктивність, ніж у випадку використання ножиць.

Для відокремлення прокату зі значною площею поперечного перетину здійснюють операцію *ламання* прокату за допомогою надрізування, яке виконують пилками та газовими різачками. Ламання виконують на швидкохідних кривошипних чи ексцентрикових пресах з невеликим робочим ходом. Такий спосіб відокремлення металу забезпечує крихке його руйнування,

тому нагрівання в цьому разі не застосовують. Перевагами способу ламання є висока продуктивність, значна економія енергії та можливість одночасного контролю якості матеріалу за характером поверхні зламу.

*Газопламеневе різання* полягає в місцевому нагріванні металу до температури вищої за температуру плавлення в струмені кисню, застосовують для розділення листового прокату значної товщини. У процесі розігрівання метал частково згоряє, а частково плавиться та витікає. Як паливо використовують ацетилен, бензин, гас, що у середовищі кисню забезпечують температуру полум'я відповідно 3100...3800, 2500... 2600 і 2000°C. Таким способом можна розрізати практично всі сталі. Гірше за інші ріжуться сталі з високим вмістом хрому (понад 7%). Різання виконують як вручну, так і за допомогою автоматів з програмним керуванням.

*Плазмове різання* виконують за допомогою різаків, принцип дії яких базується на нагріванні газу електричною дугою, яка горить у вузькому каналі та стиснена потоком газу. Плазмове різання легко автоматизується.

*Різання на механічних пилках* зі застосуванням технічних змащувально-охолоджувальних рідин використовують для розділення сортового прокату за допомогою стрічкових і дискових пилок. Для розрізування прокату застосовують також пили тертя та електромеханічні пили, в яких крім нагрівання металу від тертя використовується ще й одночасна дія електричної дуги. До переваг цього способу відносяться висока точність форми, розмірів і якість поверхонь вихідних заготовок, а недоліком його є значна трудомісткість і вартість.

*Різання шліфувальними та алмазними кругами* придатне для розділення прокату з високолегованих сталей та сплавів з низькою пластичністю. Цей спосіб різання досить трудомісткий, однак забезпечує високу якість відокремлених поверхонь, легко автоматизується та механізується.

*Анодно-механічне та електроіскрове різання* здійснюють у рідкому електропровідному середовищі за допомогою електричного струму. Інструменті для різання виготовляють з міді, латуні чи графіту. Для виготовлення вихідних заготовок із матеріалів високої твердості застосовують електроерозійне відрізання. Перевагами цих способів різання заготовок є висока точність розмірів і якість поверхні зрізу, можливість відокремлення матеріалів високої твердості та міцності; недоліком – низька продуктивність.

*Високошвидкісне різання* виконують з використанням енергії вибуху порохового заряду. За допомогою нього способу розділяють заготовки великих розмірів з важкооброблюваних матеріалів.



## 4 ПЕРЕДУМОВИ ВИРОБНИЦТВА ВІДЛИВОК

### 4.1 Загальна технологічна схема і класифікація способів виготовлення відливок

Суть ливарного виробництва полягає в тому, що фасонну заготовку виготовляють заливанням рідкого металу в ливарну форму, порожнина якої за розмірами і конфігурацією відповідає потрібній деталі.

Виготовлення відливки – це складний комплекс технологічних процесів. *Виготовлення* відливок починається з виготовлення моделей відливок та елементів ливникової системи, стержневих ящиків, опок, модельних плит, шаблонів для перевірки розмірів форми та стержнів. Усе це називається модельним комплектом і виготовляється в модельному цеху заводу. На складі формувальних матеріалів матеріали висушують, просівають і відправляють у відділення для приготування формувальних і стержневих сумішей. Ливарні форми та стержні виготовляють у формувальному та стержневому відділеннях цеху. Там же і складають форми. Весь цей процес називають формуванням.

*Приготування рідкого металу* – плавлення, яке починається з підготування шихтових матеріалів на складі цих матеріалів. Тут їх сортують і після перевірки хімічного складу подають у плавильне відділення. Розплавлений метал з печей зливається в розливальні ковші і подається для заливання у форми. Після виготовлення форми заливають розплавом певної температури: сталь – 1390...1550°C, чавун – 1220...1400°C, бронза – 1050...1200°C, силумін – 690...730°C (нижня границя для великих товстостінних відливок, верхня – для дрібних тонкостінних). Заливання здійснюється розливними ковшами, футерованими зсередини вогнетривким матеріалом так, щоб струмінь металу не переривався а ливникова чаша весь час була заповнена металом.

Після повного затверднення металу і достатнього охолодження вилівка форми руйнують і вилівки разом з ливниковою системою виймають із форми. Ця операція називається *вибиванням* вилівок. Вона досить трудомістка, супроводжується значним виділенням пилу, газів і теплоти. Зазвичай вибивання вилівок здійснюється на вібраційних решітках, які здійснюють близько 1500 коливань за хвилину з амплітудою 5...10 мм. Суміш крізь решітку сиплеться на конвеєр, а вилівок залишається на решітці. Конвеєром суміш подається у відділення для її регенерації і повторного використання.

Стержні з вилівок вибивають вручну або використовують пневматичні вібраційні машини, в яких вилівок струшується і стержнева суміш з нього видаляється. Великі стержні вимивають з вилівок струменем води, використовуючи гідравлічні установки. При цьому значно підвищується продуктивність праці та покращуються умови роботи.

Операція відокремлення ливникової системи від вилівок називається *обрубанням*. Обрубують ливникову систему у дрібних чавунних вилівках вручну молотком або ковадлом. У сталевих і з кольорових металів вилівках, а також додатки великих чавунних вилівок відрізують дисковими або стрічковими пилами. Від сталевих вилівок ливникову систему і додатки

відокремлюють також газокисневим різанням. Заливи, задирки, нерівності поверхні обрубують пневматичним зубилом або зачищають абразивним кругом.

Після обрубання виливки очищають від пригару. В одиничному виробництві це роблять сталевими щітками, ручними або пневматичними зубилами, у серійному – в обертових барабанах із зірочками з білого чавуну (дрібні виливки з чорних металів), у дробоструминних і дробометальних апаратах або сильним струменем води з піском. Пригар із поверхні виливків кольорових металів видаляють хімічним травленням.

Потім очищені виливки направляються у відділ технічного контролю. Придатні виливки в разі необхідності піддають термічній обробці для зняття внутрішніх напружень: відпалу, нормалізації, штучному старінню. Потім (при необхідності) відливки знову контролюють і подають на механічну обробку.

Способи виготовлення відливок класифікують:

- за кількістю заливань сплаву у ливарну форму (разові та багаторазові);
- за конструкцією ливарних форм (роз'ємні та нероз'ємні);
- за матеріалом, з якого виготовляють форми (піщано-глиняні, піщані, земляні, графітові, керамічні, металеві, шамотно-цегляні і т.п.);
- за тиском, під яким перебуває рідкий метал у формі (атмосферний, низький, високий, вакуум);
- за способом подавання розплавлених металів у форми (вільне лиття, вакуумне лиття, лиття за допомогою вібрації, ультразвуку, електромагнітних полів і т.п.).

Коротку характеристику способів виготовлення відливок наведено в таблиці 4.1, де цифрами позначено умовну оцінку окремих показників технологічного процесу виготовлення заготовок та їх якості. Найвища оцінка – 1, а найнижча – 5.

На практиці застосовують також комбіновані способи, тому часто спосіб виготовлення відливки одночасно належить до різних класифікаційних груп. У літературі можна зустріти поділ способів виготовлення відливок на звичайні (поширені) та спеціальні, що мають конкретне (обмежене) застосування. Спеціальні способи дають можливість виготовляти відливки вищої якості, точності розмірів, складності форми або із спеціальних сплавів. Така класифікація способів виготовлення відливок є умовною.

Щодо вибору способу отримання заготовки – то інколи вибір дорожчої, але якіснішої заготовки за рахунок зменшення обсягу її подальшої обробки забезпечує нижчу вартість виробу. Тому в процесі вибору способу виготовлення заготовки потрібний детальний та всебічний аналіз усіх альтернативних варіантів.

Сфера розповсюдження способу виготовлення відливок визначається переліком матеріалів з яких можна їх виготовляти, масою та розмірами, складністю форми, точністю розмірів, якістю поверхонь, щільністю матеріалу, типом чи обсягом виробництва, умовами та безпекою праці.

Таблиця 4.1 – Характеристика способів виготовлення відливок

Показник	Спосіб виготовлення				
	Під тиском	Виплавні моделі	Оболонкові форми	Кокіль	Піщано-глиняні форми
Точність форми і розмірів	1	2	3	4	5
Складність конфігурації	3	1	4	5	2
Тонкостінність	1	2	3	5	4
Універсальність за матеріалом	4	2	3	5	1
Час на освоєння випуску	5	3	4	2	1
Вартість спорядження	5	2	3	4	1
Вихід якісної продукції	1	2	4	5	3
Економічність у серійному виробництві	1	5	4	2	3
Продуктивність праці	1	5	3	2	4

#### 4.2 Основні властивості матеріалів для лиття та види ливарних форм

Якість відливок переважно залежить від фізичних, механічних, хімічних і технологічних властивостей матеріалів, з яких вони виготовляються. Основними з них є рідкотекучість, усідання, схильність до ліквідації та газопоглинання.

*Рідкотекучість* – це здатність рідкого сплаву заповнювати дрібні порожнини ливарної форми та чітко відтворювати обриси відливки. Цю властивість матеріалу потрібно враховувати під час конструювання форми відливки, встановлення її розмірів, товщини стінок, вибору ливникової системи.

*Усідання* – це зменшення об'єму матеріалу та лінійних розмірів відливки в процесі її кристалізації та охолодження у твердому стані. Розрізняють *об'ємне* та *лінійне* усідання. Об'ємне усідання призводить до появи газових порожнин (раковин) у потовщених місцях. Для їх усунення в литих заготовках передбачають прибутки, які після застигання відрізають, або охолоджувачі (металеві вкладки) – їх заливають металом.

Лінійне усідання викликає внутрішні напруження та призводить до утворення тріщин. Тому стержні ливарних форм виготовляють із податливих матеріалів. Визначаючи розміри ливарних форм і моделей, враховують усідання чавуну в межах 0,5...1,5%, сталей – 1,5...2%, кольорових сплавів – 0,5...1,8%. Більші значення усідання стосуються менших за масою та простіших за формою відливок.

*Ліквідація* – це неоднорідність хімічного складу матеріалу в перетині відливки. Розрізняють ліквідацію зональну (по всьому об'ємі відливки) та

дендритну (в межах одного зерна – дендриту). Ліквіація зумовлює неоднорідність механічних властивостей відливки. Для зменшення ліквіації збільшують швидкість охолодження заготовки.

*Газопоглинання* – це здатність сплаву у рідкому стані розчиняти кисень, азот, водень. У процесі охолодження ці гази виділяються із сплаву та спричиняють появу газових раковин. Тому формувальна та стержнева суміші повинні бути газопроникними. *Кращими ливарними сплавами є ті, які мають вищу рідкотекучість, менше усідання, не ліквують і не поглинають гази.*

Для виготовлення відливок широко застосовують сплави на основі заліза, міді, алюмінію, титану, магнію, цинку. Три чверті всіх відливок у машинобудуванні виготовляють із чавуну, який відрізняється низькою вартістю, добрими ливарними властивостями та порівняно високою міцністю. Найдешевшим серед чавунів є сірий чавун.

Вищими за міцністю та зносостійкістю є модифіковані, леговані, ковкі та високоміцні чавуни, що за своїми механічними та ливарними властивостями близькі до сталей, але є значно дешевшими, мають нижчу температуру плавлення, краще обробляються різанням.

Майже 20% всіх відливок за масою виготовляють зі сталей. Ливарні сталі порівняно з чавунами мають нижчу рідкотекучість і більше усідання. Близько 5% відливок за масою виготовляють із кольорових металів та їх сплавів.

Найбільше розповсюджені сплави на основі міді, латуні та бронзи. Найкращі ливарні властивості мають латуні. Високими ливарними властивостями характеризуються алюмінієві ливарні сплави, які містять мідь, магній, кремній та цинк. Ці сплави відрізняються порівняно низькою питомою вагою, вогнестійкістю, низькою вартістю та дають змогу виготовляти тонкостінні, складні за формою відливки. Магнієві сплави мають порівняно з алюмінієвими гірші ливарні властивості. До тугоплавких належать сплави на основі титану, вольфраму, молібдену, ванадію та ніобію. Вони характеризуються високою температурою плавлення (2000...3500°C) та підвищеною міцністю при високих температурах. Як конструкційний матеріал найбільше використовують титанові сплави, що характеризуються вузькими температурними інтервалами кристалізації та невисокою-хімічною активністю до формувальних матеріалів.

Механічні властивості литих сплавів дещо гірші від деформівних внаслідок більшого розміру кристалів, неоднорідності структури, шпаристості та інших дефектів лиття. Біля поверхні метал має вищу твердість і міцність, ніж всередині. Міцність литого сплаву залежить від температури заливання, товщини стінки, способу виготовлення та характеру охолодження відливки у формі.

За терміном служби ливарні форми поділяються на *разові* та *багаторазові*.

*Разові форми* поділяються на піщано-глиняні, оболонкові та форми, виготовлені за моделями, що виплавляються або газифікуються. Такі форми придатні для виготовлення тільки однієї відливки, після чого форма руйнується і для отримання наступної відливки потрібно виготовити нову форму.

Більшість фасонних відливок в машинобудуванні виготовляють в разових формах. Їх виготовляють з піщано-глиняних або піщано-смоляних формувальних сумішей.

Формувальні суміші виготовляють з формувальних матеріалів, до яких відносяться: кварцовий пісок, вогнетривка глина та спеціальні домішки. Пісок, основним компонентом (90...98%) якого є кварц (двооксид кремнію або кремнезем) є основною складовою формових та стержневих сумішей і забезпечує їм вогнетривкість і газопроникність. Глина є скріплюючим матеріалом і надає сумішам необхідну міцність і одночасно пластичність, але знижує газопроникність і піддатливість, а також утруднює вибивання стержнів з відливки. Тому при виготовленні стержнів використовують суміші, до складу яких додають як скріплюючі складники (замість глини) різні органічні та неорганічні матеріали: штучні смоли (формальдегідні, фенолформальдегідні та інші), декстрин (хімічно оброблений крохмаль), сульфітно-спиртову барду (виробляють із відходів паперово-целюлозної промисловості), патоку (мелясу), рідке скло та ін.

До складу формувальних та стержневих сумішей додають і інші матеріали, що забезпечують цим сумішам комплекс необхідних властивостей.

*Багаторазові* форми придатні для виготовлення багатьох – до сотень і навіть тисяч відливок. Їх після кристалізації сплаву не руйнують, а розкривають для видалення готової відливки і використовують повторно після відповідної підготовки. До багаторазових форм відносяться металеві форми, а до способів лиття в такі форми – лиття в кокіль, відцентрове лиття та лиття під тиском.

#### **4.3 Конфігурація конструкцій відливок, дефекти та причини їх виникнення**

Усі виливки за складністю конфігурації поділяють на шість груп:

I. Площинні виливки загального призначення: кришки, плити, маховики без спиць, вантажі, диски, балки та ін.

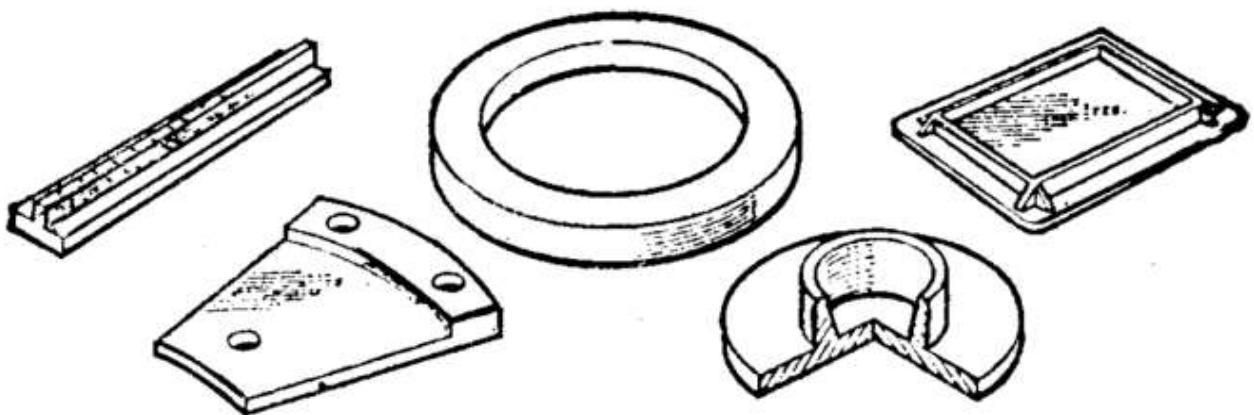


Рисунок 4.1 – Відливки I-ї групи складності (прості)

II. Виливки відкритої коробчастої форми: ковпаки, колеса та ролики зі спицями, барабани для млинів, кронштейни та ін.

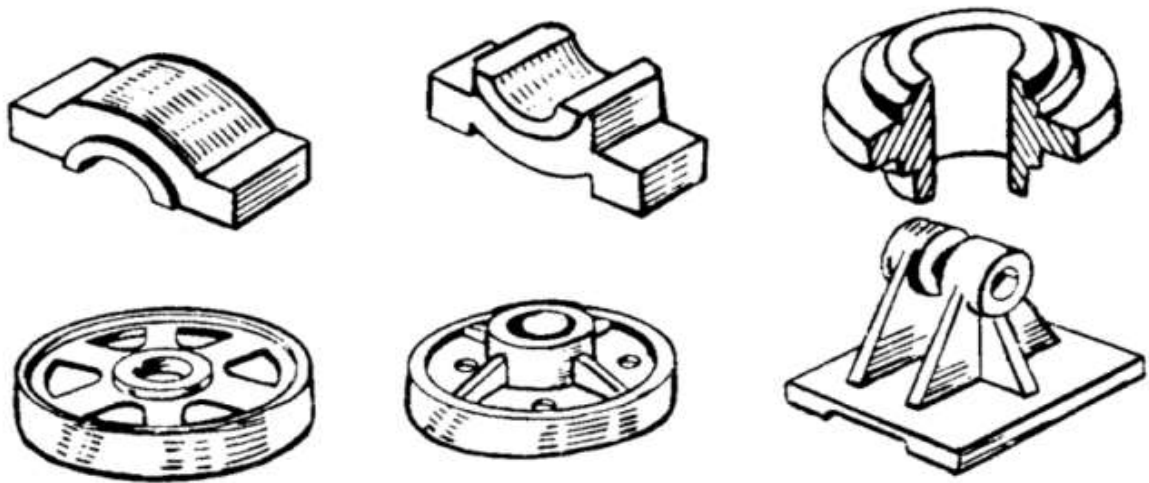


Рисунок 4.2 – Відливки II-ї групи складності (прості)

III. Виливки відкритої коробчастої або циліндричної форми: шків, корпуси та кришки редукторів, ребристі циліндри, зубчасті колеса з литими зубцями, кронштейни, трійники і т.п.

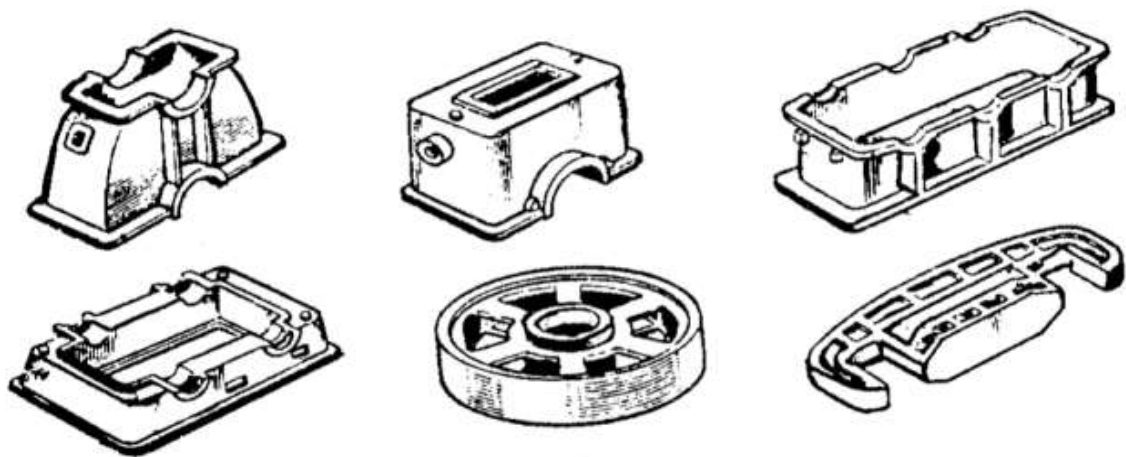


Рисунок 4.3 – Відливки III-ї групи складності (середні)

IV. Виливки закритої та частково відкритої коробчастої або циліндричної форми: станини, столи, основи пресів, молотів, корпусів насосів та ін.

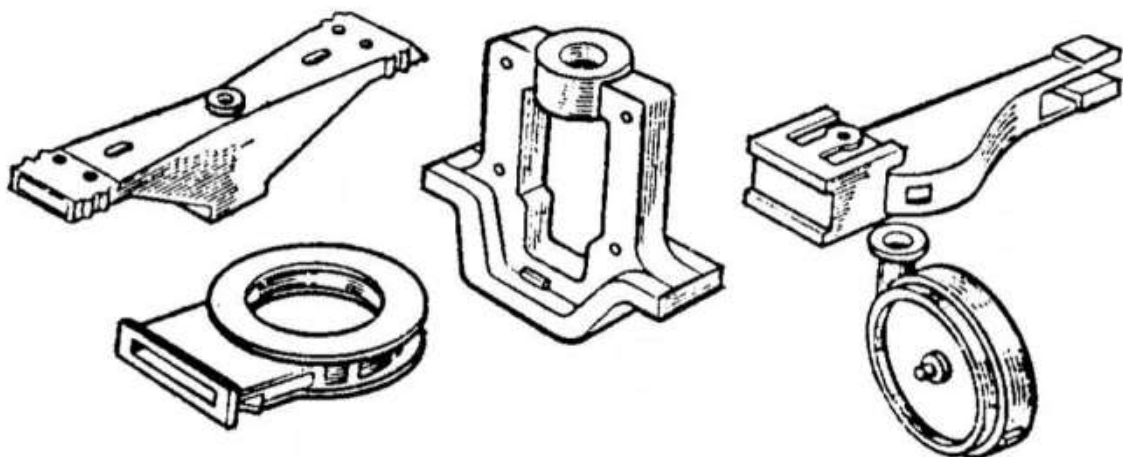


Рисунок 4.4 – Відливки IV-ї групи складності (середні)

V. Виливки закритої коробчастої та циліндричної форми особливо відповідального призначення, а також комбіновані для виготовлення станин металорізальних верстатів, фасонних сталевих циліндрів і т.п.

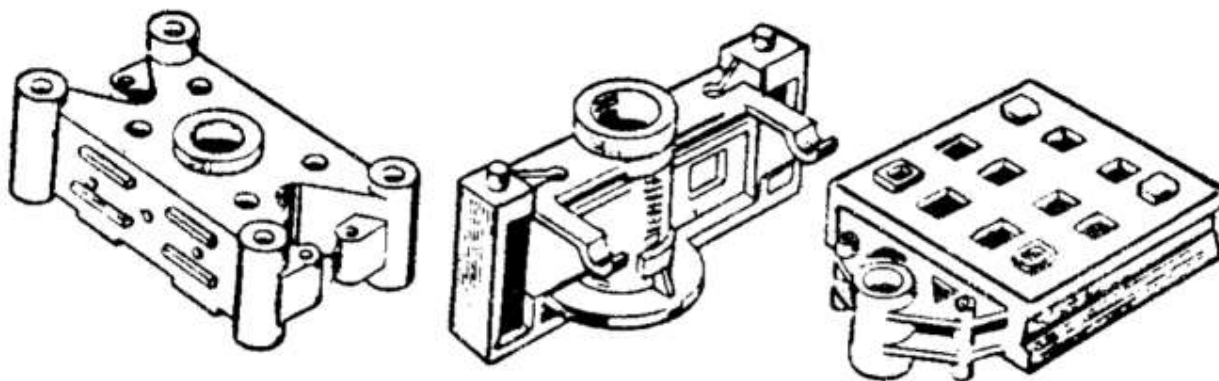


Рисунок 4.5 – Відливки V-ї групи складності (складні)

VI. Виливки закритої коробчастої, циліндричної форм. Внутрішні порожнини особливо складної конфігурації, з наявністю стрічкових і кільцевих каналів, розташованих у два та більше ярусів. Типові виливки – гідравлічні коробки, блоки циліндрів і т.п.

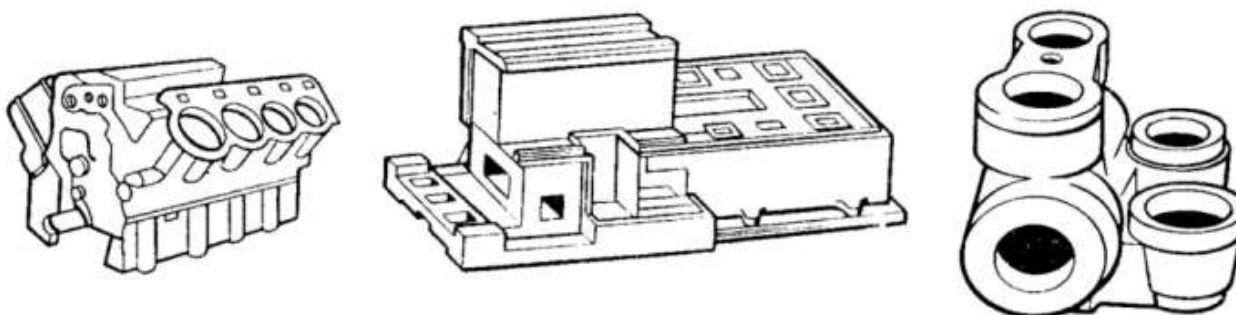


Рисунок 4.6 – Відливки VI-ї групи складності (складні)

Контроль якості здійснюється з метою визначення наявності дефектів, які свідчили б про можливість чи неможливість подальшого використання відливок. Основними дефектами відливок є:

- *газові раковини* – бульбашки у тілі відливки. Утворюються при недостатній газопроникності формової суміші або при дуже щільному заповненню форми;

- *піщані та шлакові раковини* – порожнини, заповнені формувальною сумішшю або шлаком. Виникають внаслідок слабкого набивання форми або поганої конструкції шлаковловлювача;

- *усадкові раковини* – відкриті або закриті пустоти в тілі відливки. Утворюються при неправильній конструкції заготовки або недосконалій ливниковій системі;

- *холодні тріщини* – розриви тіла відливки, як правило значної довжини. Утворюються внаслідок неоднакової швидкості охолодження різних частин заготовки;

– *гарячі тріщини* – розриви тіла відливки незначної довжини. Причина – недостатня податливість форми та стержнів або недостатня витримка відливок у формі.

Газові та піщані раковини а також відкриті усадкові раковини можуть бути виправлені заварюванням, якщо майбутня деталь буде працювати при значних навантаженнях або забиванням замазками чи мастиками на невідповідальних виробках.

## 5 СПОСОБИ ЛИТТЯ У РАЗОВІ І НАПІВСТАЛІ ФОРМИ

### 5.1 Лиття в піщано-глиняні форми

Даний спосіб лиття є найбільш поширеним. У машинобудуванні ним виготовляють 75...80% відливок (за масою). У залежності від розмірів відливки і типу виробництва застосовують ручну або машинну формовку. Методом лиття у ПГФ можна одержувати виливки самої складної конфігурації і різної маси.

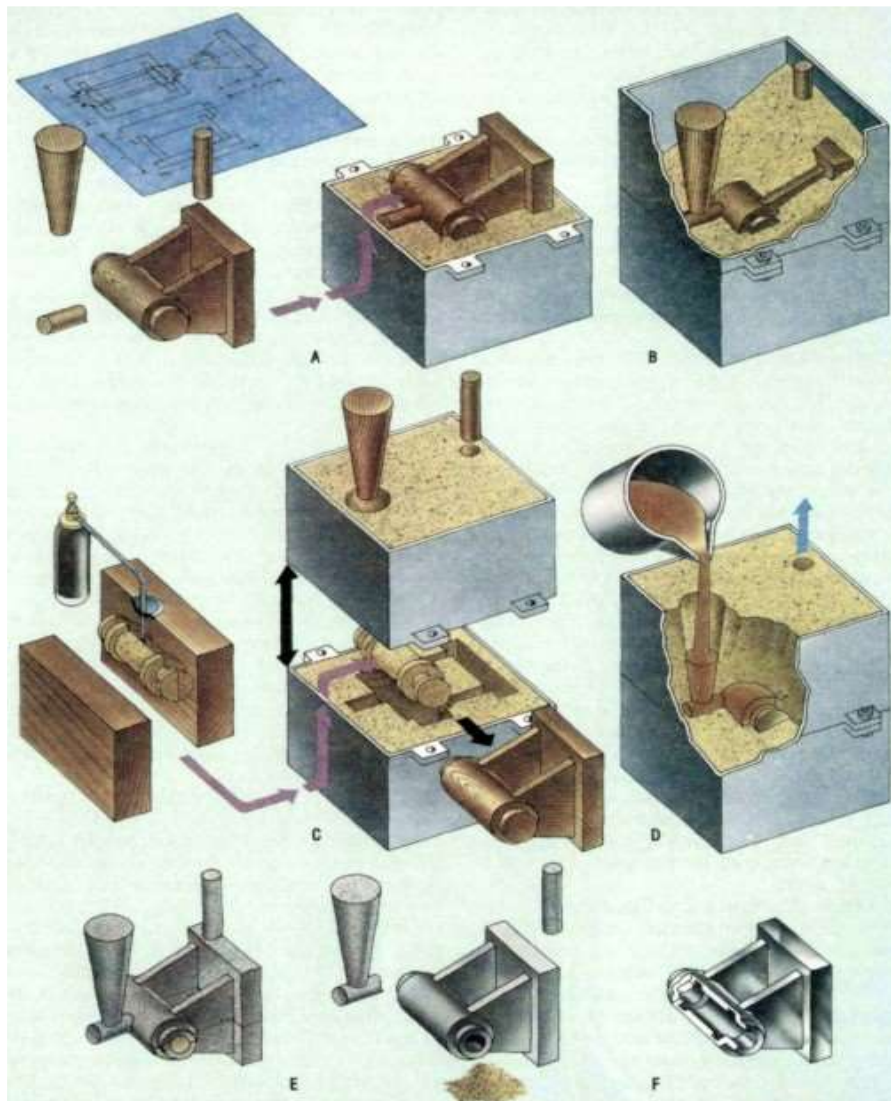


Рисунок 5.1 – Послідовність виготовлення заготовки литтям у ПГФ



Отримувані заготовки характеризуються низькою точністю, високими параметрами шорсткості і великими припусками на механічну обробку. Вартість виготовлення відливок мінімальна, але вартість їх механічної обробки більша, ніж заготовок одержаних іншими способами лиття. Лиття у ППФ потребує найбільших витрат металу, виготовляють переважно відливки із сталі, чавуну і рідко з кольорових металів. Цей спосіб найчастіше застосовують в одиничному і серійному виробництві. Застосування в масовому виробництві можливе лише при високому ступені механізації.

## 5.2 Спосіб лиття у вакуумно-плівкові форми

Суть способу полягає в тому, що на газопроникний модельний комплект накладають попередньо нагріту синтетичну плівку і створюють вакуум між плівкою та модельним комплектом.

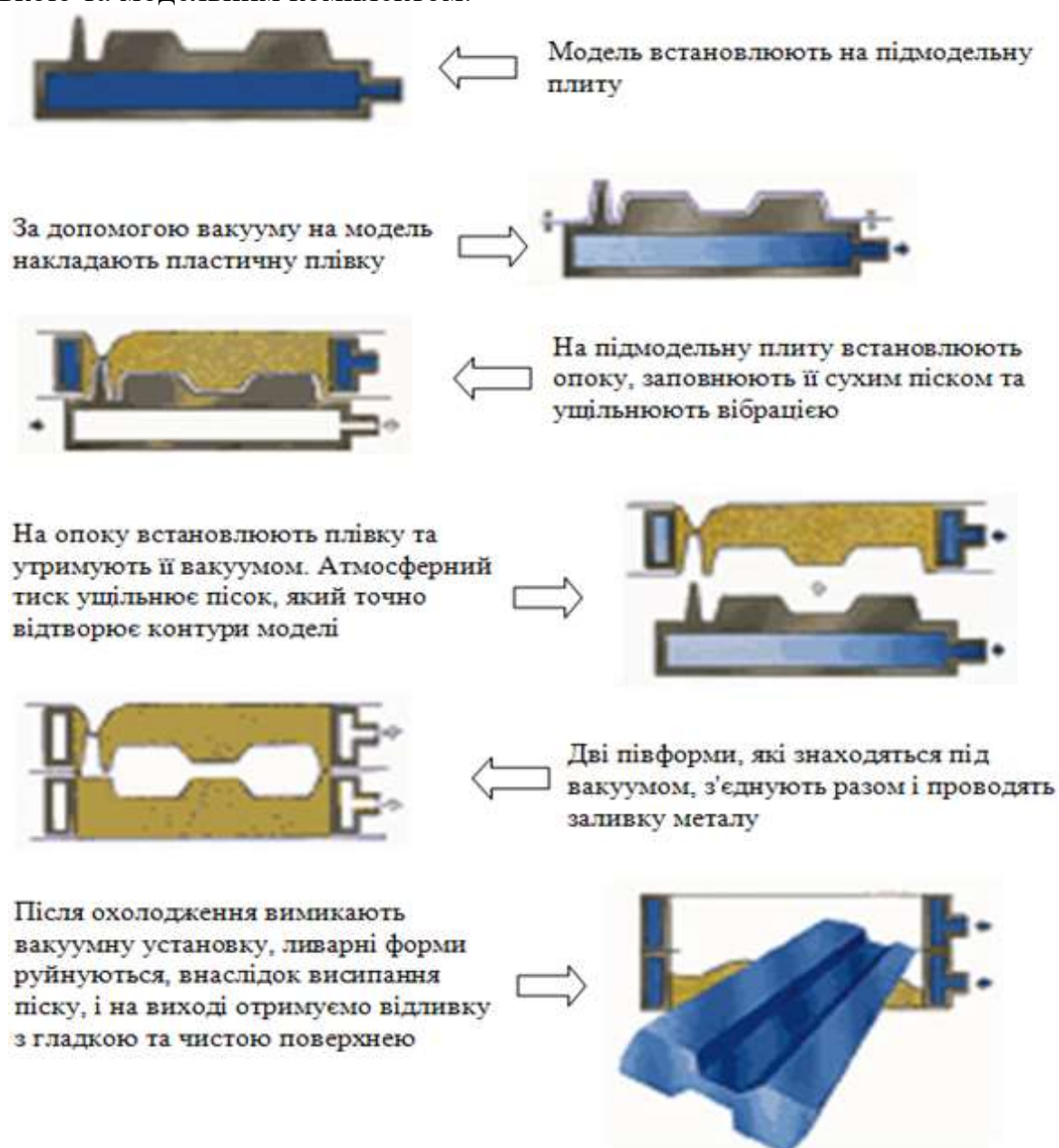


Рисунок 5.2 – Послідовність виробництва заготовки методом лиття у ВПФ

Завдяки створеному розрідженню плівка щільно прилягає до поверхні моделі. На модельний комплект накладають опоку, засипають сухим піском, трамбуєть, покривають плівкою та створюють вакуум всередині опоки. Транспортуєть готові ливарні форми чи їх частини разом з автономним вакуумним пристроєм.

Здебільшого форми перед заливанням і підчас заливання перебувають у вакуумі. Відключення від вакуумних пристроїв допускаєть тільки на короткий час за умови повної герметичності форми.

Заливання форм слід виконувати швидко, щоб уникнути передчасного їх руйнування від втрати герметичності під час вигоряння плівки. Для виходу газів з форми передбачені спеціальні отвори. Ливникову систему роблять відкритою. Часто її виготовляють з газифікованих матеріалів (пінополістиролу), які вигоряють підчас заливання.

Після охолодження відливки відключають вакуумний пристрій і пісок транспортуєть для повторного використання. Сфера застосування – це відливки із всіх ливарних металів та сплавів для всіх типів виробництва. Маса заготовок від 1 кг до 10 т з габаритами до кількох метрів. Щоб уникнути прилипання плівки та піску до виливків, поверхню плівки покривають безводними фарбами, виготовленими на основі графіту, тальку, маршаліту.

Перевагами відливок отриманих литтям у ВПФ є легкість відокремлення від форми, відсутність зв'язувальних матеріалів і домішок (кількість формувальних матеріалів зменшуєть на 40%, а витрати піску за один цикл до 3%). Недоліками є значні зусилля для витягування (плівка з поліетилену), обмежений температурний діапазон (плівка з поліпропілену), виділення токсинів (хлор – полівінілхлоридна плівка).

### **5.3 Метод лиття в оболонкові форми**

Спосіб лиття в ОФ застосовуєть у багатосерійному і масовому виробництві для виготовлення високоякісних, фасонних і складних за формою, дрібних і середніх заготовок. При малих затратах формувальних сумішей виготовляють тонкостінні виливки з чавуну, вуглецевої і легованої сталей і кольорових металів.

Ливарну форму виготовляють у вигляді тонкої оболонки, утвореної з суміші зв'язувальних матеріалів типу термоактивних фенольних смол і кварцового піску. Оболонкову форму з двох чи більше частин виготовляють шляхом покриття нагрітої моделі термореактивною сумішшю та полімеризацією частин оболонкової форми нагріванням в печі до 350°C. Для прискорення тверднення форми до суміші додають каталізатори, наприклад уротропін. Товщина оболонки 6...8 мм. Для зміцнення форми оболонку встановлюють у скриньку та засипають грубим піском або чавунним шротом. Моделі виготовляють з чавуну, рідше зі сталі, алюмінієвих і магнієвих сплавів.

Застосовують такі способи виготовлення оболонок: бункерний, піскодувний та пресувальний за допомогою гнучкої діафрагми.

*Бункерний* спосіб полягає в закритті бункера, наповненого сумішшю, нагрітою підмодельною плитою з моделлю, та перекиданні його на заданий час для утворення на поверхні моделі оболонки достатньої товщини. Таким способом за допомогою бункерної машини виготовляють до 100 напівформ за годину.

У процесі *піскодубного* способу плакований (покритий) смолою пісок наносять на модель за допомогою струменя стисненого повітря. При цьому способі оболонка має більшу міцність. Але найбільш міцною є оболонка, утворена пресуванням за допомогою *гнучої діафрагми* (наприклад, гумової). На суміш через діафрагму діє надлишковий тиск (до 0,2 МПа) теплого повітря.

Широко використовують у ливарному виробництві заготовок оболонкові стержні. Вони легкі, міцні, не пригорають, через вигоряння смоли в процесі заповнення форми гарячим сплавом стають газопроникними, податливими, не гальмують процес усідання відливки під час його охолодження, легко видаляються з тіла заготовки, негігроскопічні (придатні для тривалого зберігання).

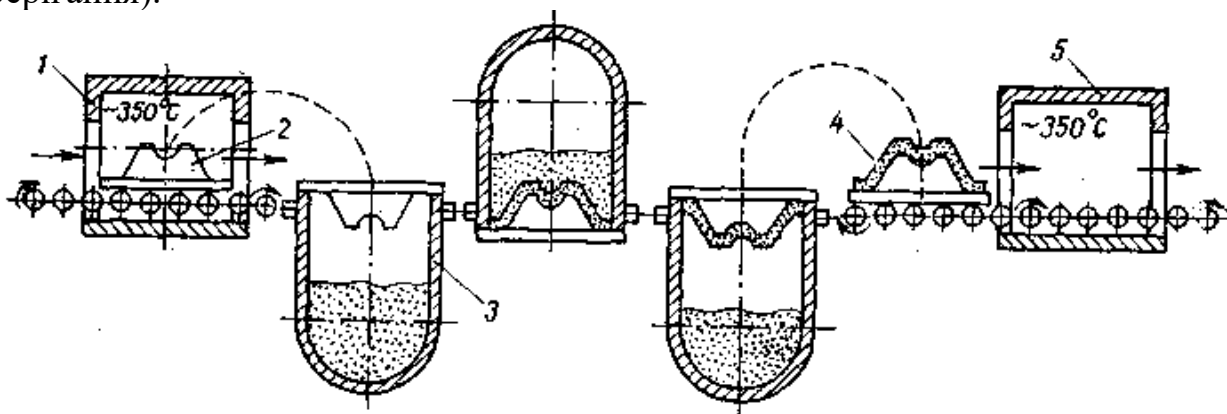


Рисунок 5.3 – Схема виготовлення ОФ:

1 – камера підігрівання моделі з плитою; 2 – модель з плитою; 3 – кошух бункера; 4 – оболонка форми; 5 – камера для відпалювання оболонок форми

Лиття в ОФ дозволяє зменшити об'єм обрубних і очисних робіт приблизно на 50%, витрат металу – на 30...50%, а витрат формувальної суміші – в 10...20 разів. Механічна обробка таких відливок скорочується на 40...50%.

Переваги цього способу лиття – висока якість виливків, можливість виготовлення заготовок складних геометричних форм, тонкостінних форм, порівняно менші витрати формувальних сумішей, кращі умови праці, менша потреба у виробничих площах. Окрім цього виробничий процес легко піддається механізації та автоматизації. Цей спосіб дає змогу виготовляти заготовки з високою точністю розмірів (до 12-го квалітету) і шорсткістю поверхонь Ra 2,5...5 мкм.

Основним недоліком є висока вартість фенольних смол та використання дорогої металевої модельної оснастки.

#### **5.4 Лиття по виплавлюваних, розчинних та випалюваних моделях**

Суть цього способу лиття полягає в тому, що з модельної маси, до складу якої входять різні легкоплавкі, розчинні чи матеріали, які згоряють, виготовляють точні моделі відливок з ливниковою системою. Моделі покривають в декілька шарів (3...5) вогнетривкою керамічною суспензією, до складу якої входить вогнетривкий пиловидний наповнювач – маршаліт (60...70%) і скріплювач – гідролізований розчин етилсилікату – 30...40%. Кожен такий шар обсипають кварцовим піском і підсушують. Потім з виготовленою оболонкою товщиною 4...6 мм модельну суміш випалюють. Утворюється точна нероз'ємна форма.

Оболонки встановлюють в металеві ящики, обсипають навколо сухим кварцовим піском, прожарюють їх при температурі 900...1000°C протягом 2...3 год. (інколи 6...8 год.) і в гарячому стані заливають розплавом, що дозволяє підвищити рідкоплинність металу і отримувати точні, тонкостінні, складної форми вилівки з низькими припусками на обробку з будь-якого сплаву. Відповідно від температури гарячого сплаву матеріал моделі плавиться, розчиняється чи вигоряє (газифікується) і його порожнину заповнює метал, точно відтворюючи форму моделі.

Переважно так виготовляють заготовки для виробів із матеріалів, які мають високу температуру плавлення та погано піддаються механічній обробці та куванню. Рекомендовано застосовувати у виробництвах дрібних (масою до 10 кг), але складних деталей з високими вимогами до точності розмірів і чистоти поверхні, особливо в тих випадках, коли механічна обробка потрібна тільки для спряжених поверхонь. Проте даним способом виготовляють заготовки масою від 0,02 до 100 кг з мінімальною товщиною стінки 0,5 мм та отворами 1 мм. Точність розмірів (до 11-12-го квалітету) і шорсткістю поверхонь до Ra 6 мкм.

Матеріалом моделей служать:

- виплавляємих: віск, парафін, стеарин, каніфоль;
- для розчинних: карбамід;
- для випалюваних: пінополістирол, поліуретан.

Застосування: дрібні та складні за конфігурацією заготовки з кольорових металів, сплавів, високолегованих і вогнестійких сталей, які погано обробляються різанням або мають низькі ливарні властивості.

Використання литих таким способом деталей замість штампованих дозволяє знизити витрати металу на 55...75%, трудомісткість механічної обробки – на 50...60% і собівартість деталей – на 20%.

Переваги: підвищена точність форми та розмірів, якість поверхні, незначні ливарні нахили, відсутність стержнів, мінімальні припуски на механічну обробку, легка відокремлюваність від форми, не пригорання.

Недоліки: порівняно висока трудомісткість і складність технологічного процесу.

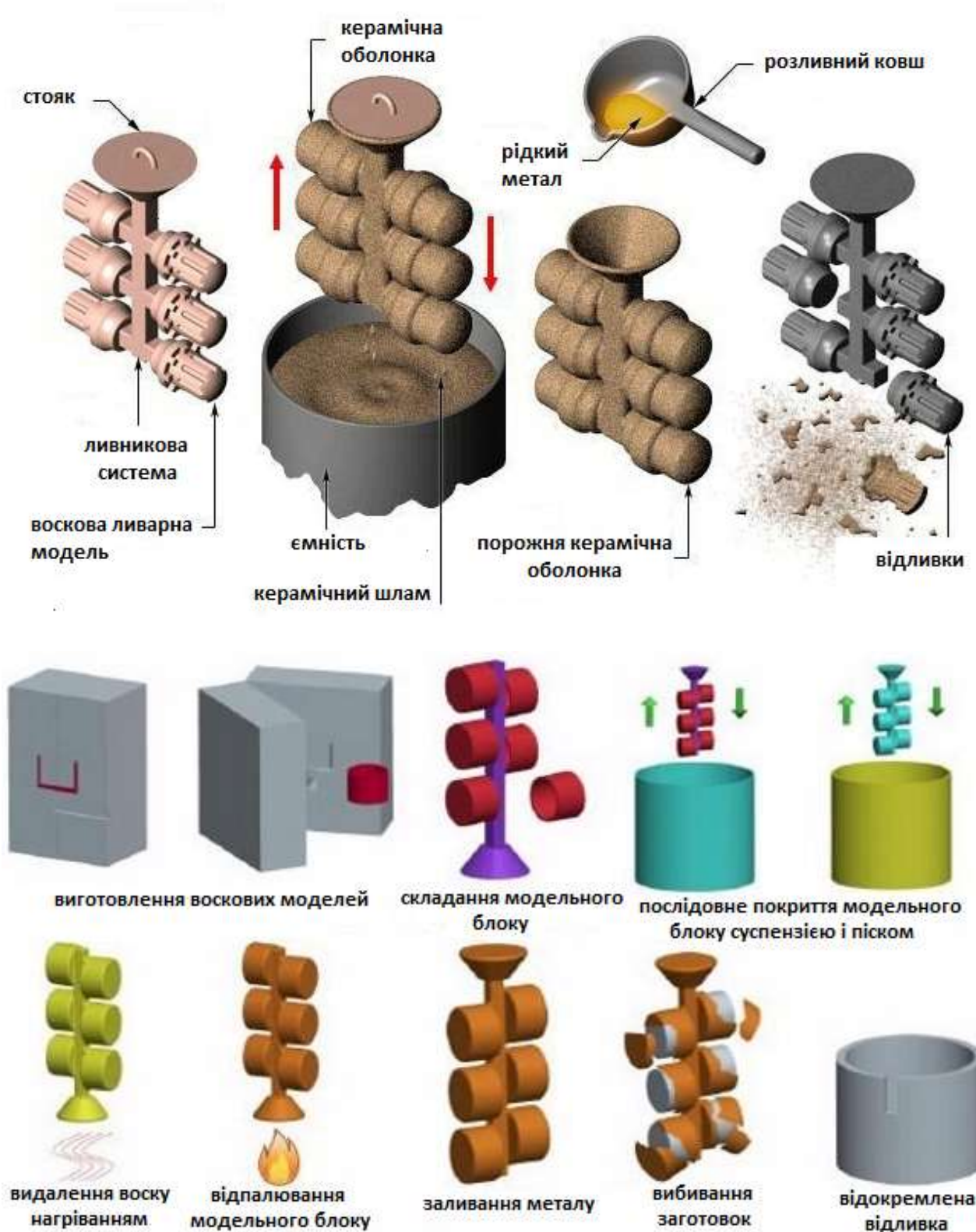


Рисунок 5.4 – Послідовність лиття за виплавленими моделями

### 5.5 Спосіб лиття у напівсталі форми

При способі лиття у НСФ розплав заливають у форми:

- графітові (виготовляються з брикетованого природного, штучного графіту, пірографіту, вуглецевих матеріалів шляхом механічної обробки

різанням), стійкість – до 300 заливань. Ці форми практично незамінні для виготовлення виливків з хімічно активних тугоплавких сплавів на основі титану, урану, ніобію, вольфраму. У виробництві застосовують як чисто графітові форми, так і форми, покриті вуглецевими композиціями, оболонкові вуглецеві та форми, виготовлені з вуглецевих сумішей за виплавними моделями;

– шамотні, гіпсові – до 50...100 заливань;

– керамічні, металокерамічні до 50...100 заливань. Керамічні форми виготовляють з рідкої хімічнотвердої суміші, яку додатково обпалюють. Застосовують керамічні форми з пластичних і сипких сумішей, що виготовляються пресуванням. Металокерамічні форми залежно від вмісту металевого порошку дають змогу керувати швидкістю охолодження заготовки та напрямком тверднення її стінок.

Маса заготовок складає від 0,2 до 10 т, точність розмірів до 11 квалітету, шорсткість до  $Ra = 5$  мкм.

Останнім часом усе частіше застосовують одноразові форми, що тверднуть у спорядженні (на моделі, у формі). Загальним для них є використання синтетичних зв'язувальних матеріалів, які за відповідних умов безповоротно тверднуть. Виливки, отримані в цих формах, відзначаються високою точністю розмірів, якістю поверхонь, малими припусками на оброблення різанням та незначними ливарними нахилами. Технологічні процеси легко механізуються та автоматизуються.

Застосування методу лиття у НСФ: заготовки з жароміцних чавунів, сталей, молібденових, вольфрамових, вольфрамокобальтових сплавів з високою температурою плавлення. Як переваги можна відмітити високу точність розмірів, якість поверхонь, малі припуски на механічну обробку, незначні ливарні нахили, можливість механізації і автоматизації. Недоліки: необхідність обпалювання, висока вартість, дефіцитність і токсичність зв'язувальних матеріалів.

## **6 СПОСОБИ ЛИТТЯ У БАГАТОРАЗОВІ ФОРМИ**

### **6.1 Лиття у металеві форми**

Даний метод – найбільш дешевий серед спеціальних способів лиття. Його головна особливість полягає у багаторазовому використанні МФ – кокілю. Стійкість чавунних кокілів складає при виготовленні сталевих виливків 50...500 шт., чавунних – 400...8000 шт., виливків з кольорових сплавів – від тисячі до десятків тисяч штук.

Металеві форми виготовляють з сірого чавуну, рідше зі сталі або алюмінієвих сплавів. Кокілі бувають роз'ємні і нероз'ємні, з вертикальними і горизонтальними поверхнями рознімання. Металеві форми з металевими стержнями використовуються переважно для одержання невеликих за розміром деталей з кольорових сплавів. Деталі більших розмірів і складнішої

конфігурації відливають в напівметалевих формах (з піщаними стержнями). Точність і шорсткість поверхонь виливків, одержаних в металевих формах, залежать від багатьох факторів і в першу чергу, від методів виготовлення самих металевих форм. Для підвищення якості кокilів їх робочі поверхні покривають вогнетривкими змазками, а перед кожним заливанням фарбують.

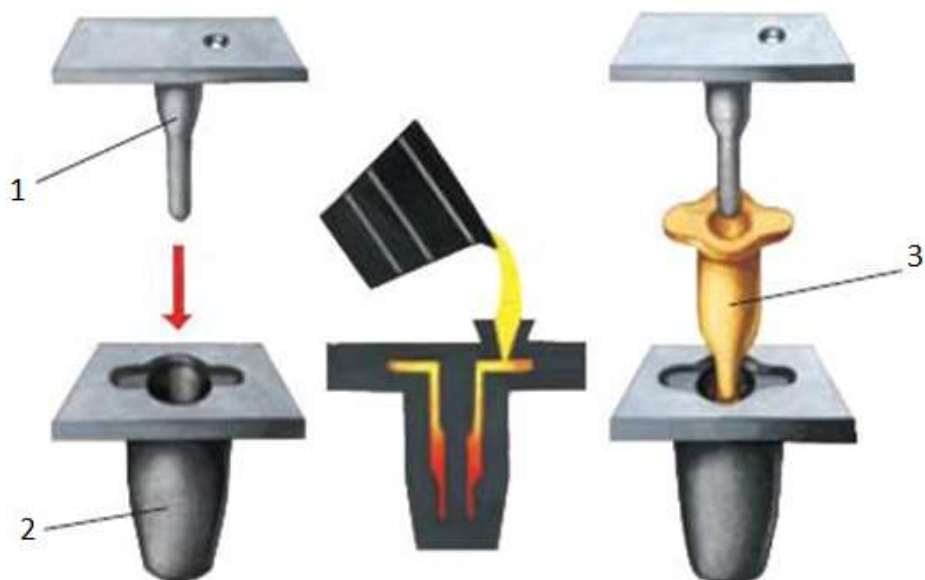


Рисунок 6.1 – Схема лиття у МФ (кокіль):  
1 – стержень; 2 – кокіль; 3 – відливка

У зв'язку з великою теплопровідністю матеріалу швидкість кристалізації дуже велика, що підвищує механічні властивості відливки (за рахунок одержання дрібнозернистої структури) на 10...15%, але утруднює одержання відливок з тонкими стінками.

У порівнянні з литтям у ПГФ при литті в МФ витрати металу зменшуються на 10...20% (за рахунок скорочення ливникової системи), собівартість відливок зменшується до 30%, підвищується продуктивність праці в 4...6 разів, трудомісткість механічної обробки зменшується в 1,5...2,0 рази (внаслідок зменшення припусків і високої точності розмірів).

До переваг даного способу лиття можна віднести:

- можливість багаторазового використання форми;
- висока точність форми і розмірів та якість поверхні (механічно необроблені металеві форми при литті заготовок з сталі і чавуну забезпечують точність 8-11 клас і шорсткість до Ra 4 мкм. Механічно оброблені форми для відливок з кольорових сплавів – точність до 5 класу, шорсткість до Ra 2,5 мкм);
- дрібнозерниста структура матеріалу;
- порівняно висока продуктивність;
- низькі трудомісткість і собівартість заготовки;
- відсутність необхідності у модельному, опоковому оснащенні і формувальних сумішах;
- добрі умови праці;
- економічність у серійному виробництві;

- низька кваліфікація робітників;
- відсутні операції по очищенню виливків від суміші, ливникової системи;

- механізація і автоматизація процесу.

Лиття в металеві форми має наступні недоліки:

- затрудняється усадка через відсутності податливості форми (неможливість одержання заготовки складної конфігурації);

- відсутність газопроникності форми (призводить до утворення підіркових газових раковин);

- висока вартість форми;

- висока ймовірність утворення тріщин у виливках;

- неможливість виготовлення тонкостінних і важких заготовок (підвищена швидкість їх охолодження).

Кокільне лиття доцільно застосовувати в умовах серійного виробництва для виготовлення виливків простої конфігурації з мідних, алюмінієвих і магнієвих сплавів, а також зі сталей і чавунів.

## 6.2 Відцентрове лиття

Даний метод полягає у заливанні рідкого металу у форму, яка обертається навколо своєї осі до закінчення кристалізації металу. За рахунок обертання форми забезпечується висока щільність металу відливки, підвищується рідкотекучість, практично відсутні витрати на виготовлення стержнів. Знижуються витрати металу оскільки відсутня ливникова система, а за рахунок відцентрових сил домішки і неметалеві включення накопичуються на внутрішній поверхні виливка і можуть бути усунуті механічною обробкою.

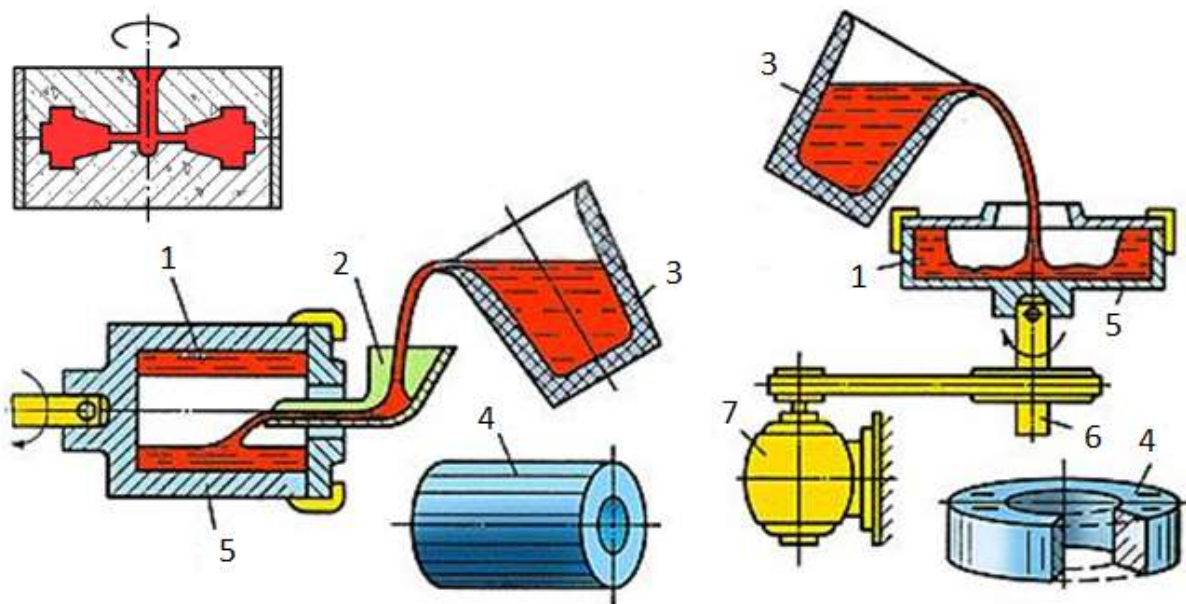


Рисунок 6.2 – Схеми відцентрового лиття:

1 – ливарний сплав; 2 – жолоб; 3 – ковш; 4 – відливка; 5 – форма;  
6 – шпиндель; 7 – електродвигун



Відцентровий спосіб лиття здійснюється за двома схемами. За першою відцентрову силу використовують для утворення порожнини відливки, яка приймає форму циліндра. Вісь відливки збігається з віссю обертання форми. Так виготовляються заготовки циліндричної форми з отвором певного діаметра (втулки, труби). При цьому, вісь обертання форми може бути горизонтальною і вертикальною.

Другу схему – центрифугування – застосовують для лиття фасонних заготовок. Відцентрову силу використовують тільки для заповнення форми розплавом і кристалізації металу. Ливарна форма виготовляється з формової суміші або є оболонковою.

ВЛ лиття застосовують у масовому, серійному та навіть одиничному виробництві для виготовлення простих за формою, циліндричних, багат шарових, тонкостінних, видовжених заготовок практично з усіх металів і сплавів. Можливе виготовлення біметалевих виливків.

Форми для ВЛ виготовляють металевими, керамічними, піщаними та комбінованими.

Основними недоліками є неточність розмірів, низька якість внутрішньої поверхні, обмежена конфігурація відливок, проблемність отримання відливок із сплавів, схильних до ліквідації, поява тріщин.

### **6.3 Лиття під високим тиском**

Суть цього способу лиття полягає в тому, що розплав вводиться в прес-форму, зазвичай металеву, під тиском 5...700 МПа. Швидкість заповнення форми дуже висока (0,1...0,2 с.), тому у виливках часто утворюються дрібні включення газу. Точність розмірів до 9 квалітету, шорсткість до  $Ra = 0,63...1,25$  мкм. Як основне обладнання при литті під ВТ використовуються компресорні та поршневі машини з холодними та гарячими камерами стискування, які розташовані горизонтально чи вертикально. Продуктивність таких машин складає 200...400 заготовок на годину. Продуктивність компресорних машин складає до 3500 штук на годину. Сплави для лиття під ВТ повинні бути достатньо міцними при високих температурах (щоб заготовки не руйнувались при виштовхуванні їх з форм), мати мінімальну усадку, високу рідкотекучість і невеликий інтервал температури кристалізації.

Машини з гарячою камерою, що перебуває безпосередньо в рідкому металі, використовують для матеріалів з температурою плавлення до 500°C. Машини з холодною камерою, що розміщена за межами рідкого металу, придатні для більш тугоплавких матеріалів. Тиск у формі підтримується до моменту повної кристалізації виливка.

У машинах з холодною камерою поршень контактує з гарячим металом короткочасно, а це дає змогу використовувати вищі робочі тиски (100... 300 МПа), ніж для машин з гарячою камерою (20 МПа). Для підвищення продуктивності машин та їхньої стійкості використовують водяне охолодження прес-форм.

Для конструювання прес-форм використовують уніфікацію, наприклад, універсальні форм-пакети, нормалізовані деталі, вузли, блоки, спеціальні форм-пакети, універсальні блок-форми, що дає змогу використовувати їх в умовах масового, серійного та дрібносерійного виробництва, а також у гнучких виробничих системах. Щоб уникнути пригорання та підвищення стійкості прес-форм, використовують мастила з парафіну, моторної олії, графіту, церезину, воску, трихлоретилену.

Прес-форми для лиття виливків із металів з високими температурами плавлення (леговані сталі) виготовляють із спечених матеріалів на основі молібдену та вольфраму.

На сучасних машинах для лиття під високим тиском автоматизовані операції обдування та змащування форми, дозування та заливання металу у форму, виштовхування виливків з форми та їх транспортування, а також очищення виливка від ливникової системи та підтримування належної температури форми під час кристалізації виливка. Пневматичні дозатори забезпечують високу чистоту металу, мінімальне зниження його температури та високу точність маси.

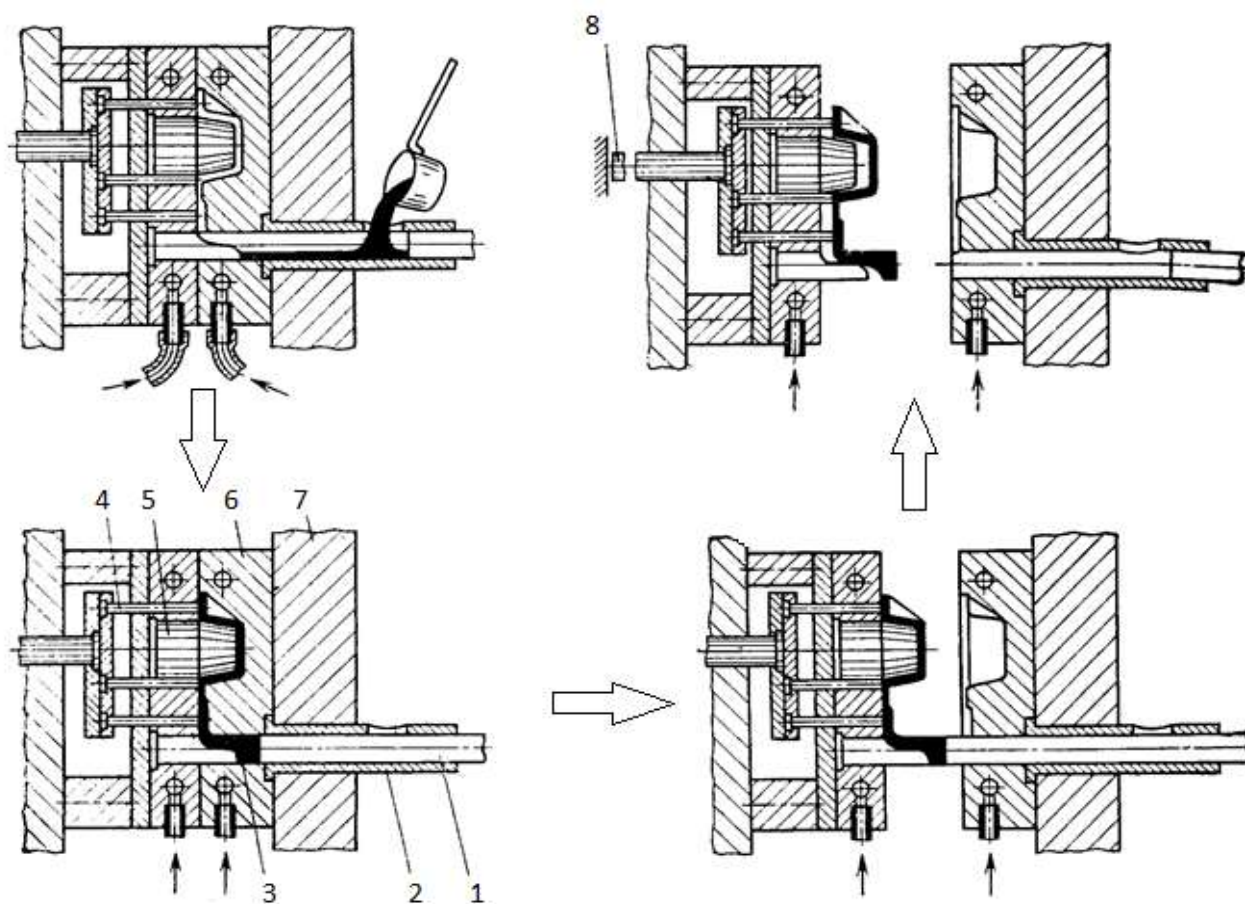


Рисунок 6.3 – Схема машини і послідовність технологічного процесу для лиття під ВТ з холодною камерою стискування:

- 1 – поршень; 2 – «холодна» камера; 3 – прес-форма; 4 – виштовхувачі; 5 – стержень; 6, 7 – частини форми; 8 – шток приводу виштовхувачів

Послідовність технологічного процесу для лиття під ВТ з холодною камерою стискання є наступною: під тиском поршня 1 з «холодної» камери пресування 2 розплав, який заливається в камеру мірним ковшом, подається в порожнину прес-форми 3. Після витримки до повного затвердіння металу (кілька секунд) прес-форма розкривається і відливка виштовхується з неї штовхачами 4.

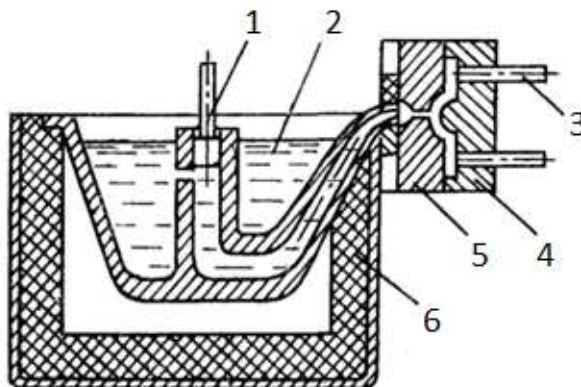


Рисунок 6.4 – Схема машини для лиття під ВТ з гарячою камерою стискання: 1 – стискувальний поршень; 2 – рідкий метал; 3 – виштовхувачі; 4, 5 – частини форми; 6 – корпус з електронагрівачем

Перевагами методу є висока якість поверхні відливки, можливість отримання тонких стінок (0,5 мм), малих отворів (1 мм) і поверхонь з різьбою, відсутність раковин і мінімальні припуски на механічну обробку.

Поряд з перевагами лиття під тиском має і суттєві недоліки: висока вартість обладнання і прес-форм, що робить цей спосіб економічно доцільним тільки для дуже великих серій заготовок; отримання відливок тільки з легкоплавких сплавів – алюмінієвих, магнієвих, цинкових, обмежено – мідних, зокрема, латуней; підвищена небезпека утворення у виливках газової пористості внаслідок надто високої швидкості заповнення форми і неможливості виходу повітря з порожнини форми за цей короткий період; виникнення внутрішніх напружень і тріщин.

#### 6.4 Лиття під низьким тиском

Технологічно даний спосіб схожий на лиття під ВТ. Різниця полягає в тому, даний процес здійснюється у спеціальних формах (металевих, земляних, стержневих, гіпсових), які металопроводом з'єднані з ванною рідкого сплаву який подається при тиску до 98 кПа, який достатній для надійного заповнення форми. Це забезпечує можливість виготовлення тонкостінних і ребристих виливків значних розмірів, з високою точністю форми та розмірів, якістю поверхонь, незначними припусками на оброблення різанням, напусками, прибутками, створює можливість автоматизації процесів виготовлення виливків і поліпшення умов праці.

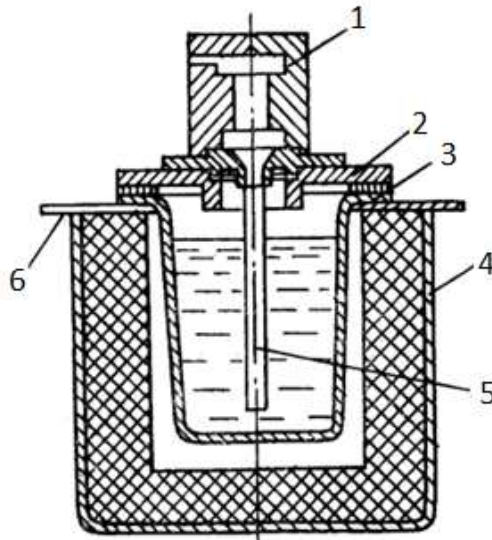


Рисунок 6.5 – Схема заготовки під НТ:

1 – металева форма; 2 – кришка тигля; 3 – тигель з рідким металом;  
4 – корпус з електронагрівачем; 5, 6 – трубопроводи для подавання  
рідкого металу і повітря

Після заповнення форми металом під дією тиску відбувається кристалізація вилівка у формі. У металопроводі метал продовжує перебувати у рідкому стані, тому ливниковий колектор виконує функцію прибутка, надійно живить нижню частину вилівка рідким металом.

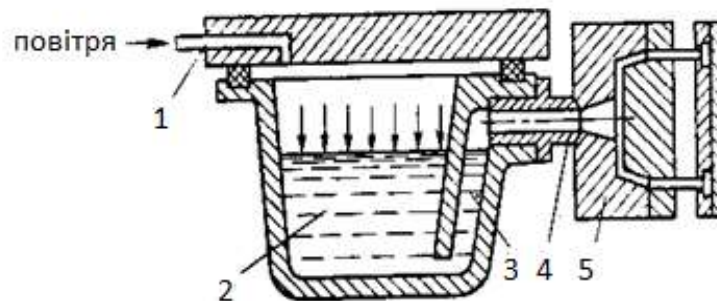


Рисунок 6.6 – Схема машини і послідовність технологічного процесу для лиття під НТ повітря чи інертного газу: 1 – трубопровід; 2 – тигель;  
3 – металопровід; 4 – мундштук; 5 – прес-форма

Послідовність технологічного процесу під невеликим тиском повітря чи інертного газу така: стиснуте повітря чи інертний газ по трубопроводу 1 подається в тигель 2 і тисне на розплав, витісняючи його по металопроводу 3 через мундштук 4 в прес-форму 5. Таким способом ллють легкоплавкі сплави: цинкові, олов'яні, свинцево-сурм'яні.

Основні переваги лиття під низьким тиском такі:

– використання металевих, піщаних, оболонкових і комбінованих форм забезпечує широку сферу застосування способу;

– керування надходженням сплаву у форму дає змогу регулювати швидкість її заповнення;

– безковшове заповнення форми сплавом з глибини шарів тигля зменшує небезпеку потрапляння у відливку неметалевих домішок;

– кристалізація відливки у формі під надлишковим тиском сприяє підвищенню якості матеріалу, точності форми, розмірів, якості поверхонь;

– зменшення тривалості заповнення форми сплавом дає змогу отримувати тонкостінні виливки.

До недоліків способу належить можлива поява газової шпаристості, раковин, прилипання піску до поверхонь відливок, незаливи від недостатнього тиску та розбризування від великої швидкості заповнення форми (надлишковий тиск), обмеження матеріалів заготовок кольоровими сплавами (переважно алюмінієвими).

## 7 ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЛИТИХ ЗАГОТОВОК

### 7.1 Вихідні дані та послідовність проєктування

Вихідні дані для проєктування відливки:

- службове призначення деталі;
- креслення готової деталі, на якому вказано матеріал деталі та її масу (в разі необхідності для розрахунку маси деталь розбивається на прості геометричні фігури, розраховується їх об'єм, потім загальний об'єм, який помножується на питому вагу матеріалу і визначається маса деталі);
- річна програма випуску деталей;
- відомості про механічну обробку заготовки.



Рисунок 7.1 – Схема послідовності виготовлення відливки

Послідовність проектування:

- *вибір матеріалу та призначення термічної обробки заготовки.*

При виборі матеріалу заготовки та її термічної обробки необхідно забезпечити:

- експлуатаційні властивості деталі у відповідності з її службовим призначенням, тобто її фізико-механічні характеристики (твердість, міцність, ударну в'язкість, довговічність, тощо);

- технологічні властивості, а саме здатність матеріалу перероблятися литтям, тобто він повинен мати високу рідкотекучість, низьку усадку, тощо;

- добру оброблюваність різанням після виготовлення заготовки.

На практиці у пояснювальній записці до способу отримання заготовки вказують вибрану марку матеріалу та розкривають її умовне позначення, наводять хімічний склад, механічні і технологічні властивості, обґрунтування вибору матеріалу. При потребі призначають термічну обробку.

- *визначення групи складності заготовки.*

За конструктивно-технологічною складністю відливки поділяють на шість груп, що характеризуються рядом ознак (конфігурація поверхонь, маса, габарити, товщина стінок, кількість стержнів та оброблених поверхонь, шорсткість, призначення деталі і т.п.). Щоб визначити групу складності конкретного виливка, наприклад одержуваного у піщаних формах, за кресленням деталі встановлюють групу складності за кожною з одинадцяти ознак і визначають кількість ознак у кожній групі. За групу складності беруть ту, в якій досягається не менше як чотири ознаки. Аналогічно визначається група складності заготовок, одержаних іншими методами.

Спрощено групу складності можна визначити за зовнішнім виглядом майбутньої відливки.

- *визначення групи серійності заготовки.*

Виливки за групами серійності класифікують залежно від їх маси та кількості річного випуску згідно довідкової літератури. Орієнтовно групи серійності відповідають таким типам виробництва: 1...2 – масовому; 3...4 – крупносерійному; 5...6 – середньосерійному; 7...8 – дрібносерійному; 9...10 – одиничному.

- *вибір методу одержання відливки.*

Вибір методу одержання відливки здійснюють на основі інформації про тип виробництва, масу, товщину стінок, габарити і матеріал деталі, точність розмірів, якість поверхонь, коефіцієнт використання матеріалу, технологічні особливості та область використання виробу, за відповідними таблицями довідникової літератури. При цьому потрібно врахувати, що найпоширенішими є методи одержання виливків у одноразових піщаних формах, здійснювані ручним і машинним формуванням. Усі інші методи потребують додаткового устаткування й оснащення і застосовуються лише в серійному та масовому виробництві.

- *загальна оцінка технологічності виливка.*

Конструкція зовнішніх і внутрішніх контурів виливка має бути якомога простішою з мінімальним числом ребер, виступів і внутрішніх порожнин.

Перевіряють цю вимогу методом тіней. Виливок повинен бути компактним. Надто крупні виливки бажано розчленувати на декілька частин. Бажано щоб габаритні розміри виливка були мінімальними, особливо по висоті, оскільки не дотримання даної рекомендації утруднює процес виготовлення форми.

Конструкція виливка повинна дозволяти виготовлення ливарної форми з мінімальним числом роз'ємів. Конфігурація і розташування стержнів у формі повинні забезпечувати вільний вихід газів і виймання стержнів. Кількість стержнів у формі повинна бути мінімальною. Конструкція виливка повинна відповідати рівномірному або послідовно напрямленому затвердінню металу

Конструкція виливка має зводити до мінімуму можливість виникнення напружень і тріщин. Для вирівнювання швидкості охолодження виливка в усіх перерізах передбачають плавні переходи між ними, ребра жорсткості в небезпечних перерізах, потовщення країв виливків і вікон.

*- вибір чорнових технологічних баз для механічної обробки.*

База – це поверхня (сполучення поверхонь), вісь, точка, що належать заготовці і використовуються для базування, тобто надання їй потрібного положення відносно обраної системи координат. Розрізняють бази чорнкової і чистової механічної обробки.

Чорновими базами служать необроблювані поверхні чи їх осі. Від цих баз проставляються розміри до решти необроблюваних чи базових оброблюваних поверхонь.

Бажано, щоб обидва види баз збігались, тобто були в одній площині, були б загальною віссю поверхні і т.д. Якщо це неможливо, роблять спеціальні технологічні приливи, поверхні яких приймають за бази. Якщо чорнові і чистові бази механічної обробки різні, то вони зв'язуються між собою розмірами, при цьому відстань між ними повинна бути мінімальною.

В деталях простої конфігурації базами можуть бути різні опорні поверхні, площини роз'єму, для більш складних – вісі циліндричних поверхонь.

При виборі баз для чорнкової обробки необхідно враховувати такі рекомендації:

- розміри чорнкової бази повинні бути по можливості мінімальними. В цьому випадку її жолоблення і допустимі відхилення на базовий розмір будуть мінімальними;

- точність складання ливарної форми не повинна впливати на точність положення чорнкової бази;

- чорнові базові поверхні не повинні перетинатись лінією роз'єму напівформ (повинні розташовуватись в одній напівформі), щоб запобігти їх скривлення при перекосах і зміщеннях напівформ;

- по кожній з 3-х осей координат необхідно призначати тільки одну базу.

- передбачити, щоб кожна база використовувалась для виконання максимального числа операцій механічної обробки. В цьому випадку забезпечується найбільша точність виготовлення виробу.

*- встановлення положення виливка у формі та розміщення лінії роз'єму форми.*

Основні рекомендацій:

- відливку розташовувати так, щоб забезпечувалось спокійне заповнення форми без руйнування струменем металу окремих ділянок форми чи стержнів.

Конструкція форми повинна забезпечувати напрямлену кристалізацію вилівка знизу вгору з тим, щоб усадкові раковини, домішки, неметалеві включення виводились в частини вилівка, що видаляються при обрубіванні і зачищенні (випари, додатки, припуски на механічну обробку).

Відповідно масивні і відповідальні елементи вилівка слід розташовувати в нижній напівформі, у крайньому випадку – вертикально.

- поверхні, що зв'язані між собою точними розмірами, рекомендується розташовувати в одній половині форми (бажано в нижній), щоб не виникло викривлень через зміщення напівформ при складанні.

- відливки, що мають подовжені поздовжні розміри (патрубки, порожнисті коробки, рами, плити) слід розташовувати так, щоб більш протяжний габарит був горизонтальним. В цьому випадку поверхня роз'єму моделі буде мати більш зручне (горизонтальне) положення.

- елементи вилівка з малою рівномірною товщиною стінок слід розташовувати у верхній частині форми для забезпечення хорошого підведення металу відповідною конструкцією живильників.

- тонкостінні елементи вилівоків бажано розташовувати вертикально або похило, щоб в них не накопичувались газові бульбашки.

- деталі типу тіл обертання рекомендується формувати з вертикальним розташуванням вісі обертання, щоб забезпечити верхнє відведення газів зі стержнів.

- відливку у формі слід розташовувати так, щоб загальна висота форми була мінімальною, а напівформи мали приблизно однакову висоту.

При визначенні поверхні роз'єму форми слід керуватись такими рекомендаціями:

- відливку, якщо дозволяє її конструкція, необхідно розташувати в одній нижній частині форми, при цьому виключається перекіс заготовки;

- поверхню роз'єму форми при заливанні бажано мати горизонтальною;

- поверхня роз'єму форми повинна забезпечувати вільне видалення моделі з форми і зручність встановлення стержнів, а також узгодження технологічного процесу з її обробкою різанням;

- форма повинна мати мінімальну кількість стержнів по можливості простої конструкції чи зовсім їх не мати;

- вибраний роз'єм форми повинен забезпечувати зручність ущільнення і складання форми, надійність устанавлення стержнів і можливість контролю їх при устанавленні в форму.

## **7.2 Місцеположення елементів ливникової системи**

Ливниковою системою називають систему каналів для підведення в форму розплавленого металу. Призначення ливникової системи полягає також в тому, щоб вловлювати шлак, що потрапляє разом з металом в ливникову чашу і підживлювати відливку в процесі кристалізації (твердіння). Ливникова



система (рис. 7.2) зазвичай складається із безпосередньо відливки 5, ливникової чаші 4, стояка 3, шлаковловлювача 2, живильника 1, в окремих випадках колектора 7 і випару 6. В залежності від конфігурації і товщини стінок і сплаву, що заливається, живильники підводять до відливки зверху, знизу чи збоку.

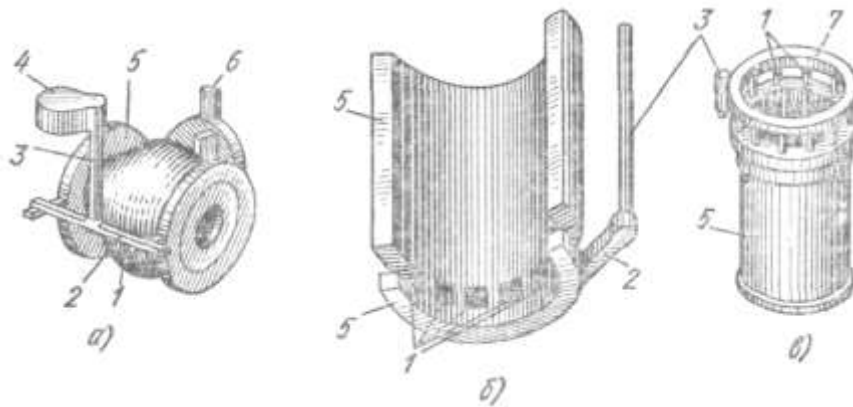


Рисунок 7.2 – Типові ливникові системи:  
 а) – підвід металу збоку; б) – підвід металу знизу; в) – підвід металу зверху

Для затримання шлаку та інших неметалевих матеріалів, що потрапляють з розплавленим металом, у ливникову систему встановлюють сітку зі скловолокна.

Для прикладу (рис. 7.3) формування заготовки шківів в двох опоках відбувається у такій послідовності:

- за допомогою моделі формується нижня напівформа 3;
- встановлюють модель шківів 4, стояка 6 і випару 5;
- формують верхню напівформу 7;
- піднімають верхню напівформу і видаляють з неї моделі стояка і випару, а з нижньої напівформи – модель шківів;
- напівформи готують до складання, встановлюють стержень 1 для створення центрального отвору і стержень 2 для створення зовнішнього поглиблення заготовки;
- верхню напівформу ставлять на нижню, фіксують їх між собою і заливають розплавленим металом чи сплавом.

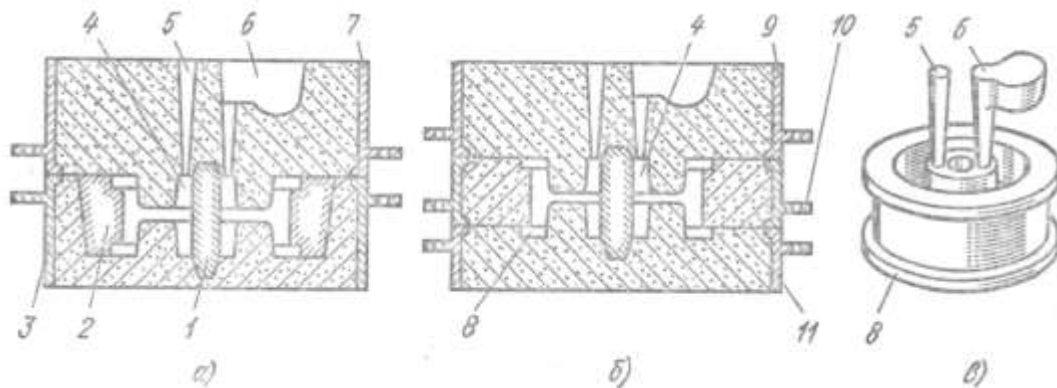


Рисунок 7.3 – Формовка шківів:  
 а) – в двох опоках; б) – в трьох опоках; в) – відливок з ливниковою системою

В одиничному виробництві, щоб не виготовляти стержень 2 і стержневий ящик для нього, застосовують формування в 3-х опоках. В цьому випадку в моделі втулку 4 і фланець 8 виконують роз'ємними. Середня опока 10 створює зовнішнє поглиблення у виливку. Після виготовлення форми піднімають верхню опоку 9, потім видаляють модель 4, знімають середню опоку 10, видаляють від'ємний фланець-модель 8, ставлять стержень та складають форму.

Склад і місцеположення елементів ливникової системи визначають з урахуванням особливостей виготовлення форм для різних сплавів.

### 7.3 Особливості виготовлення форм для відливок з різних сплавів

Форми для лиття з різних сплавів відрізняються конструкцією ливникової системи, додатків і складом формувальних сумішей.

*- виготовлення форм для виливків з ковкого чавуну.*

Ці форми (рисунок 7.4) виготовляють з урахуванням властивостей чавуну, який має велику лінійну і об'ємну усадку (4,6%<sup>9</sup>), внаслідок чого схильний до створення усадкових раковин і тріщин. Для живлення усадки в товстостінних місцях 2 виливка 5 передбачають бокові додатки – усадкові живильники 4, які твердіють в останню чергу і в них створюється усадкова раковина 1. Метал заливають через ливник 3.

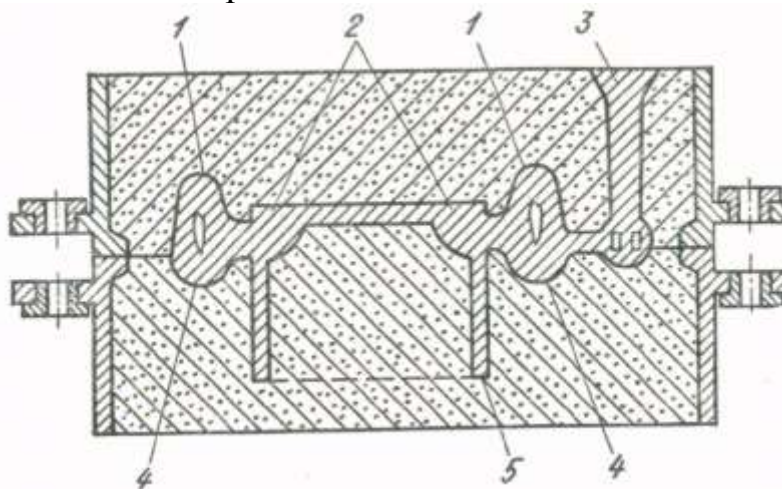


Рисунок 7.4 – Форма для виливків з ковкого чавуну

*- виготовлення форм для виливків зі сталі.*

Виготовлення цих форм (рис. 7.5) відрізняється застосуванням додатків для живлення великої (до 6%) усадки сталі. При цьому необхідно враховувати, що сталь має знижену рідкотекучість і високу температуру заливання. Для живлення усадки виливка передбачено п'ять додатків 2 і масивний стояк 1. Часто маса додатків наближається до маси виливка. В середньому маса додатку складає 0,6 від маси виливка.

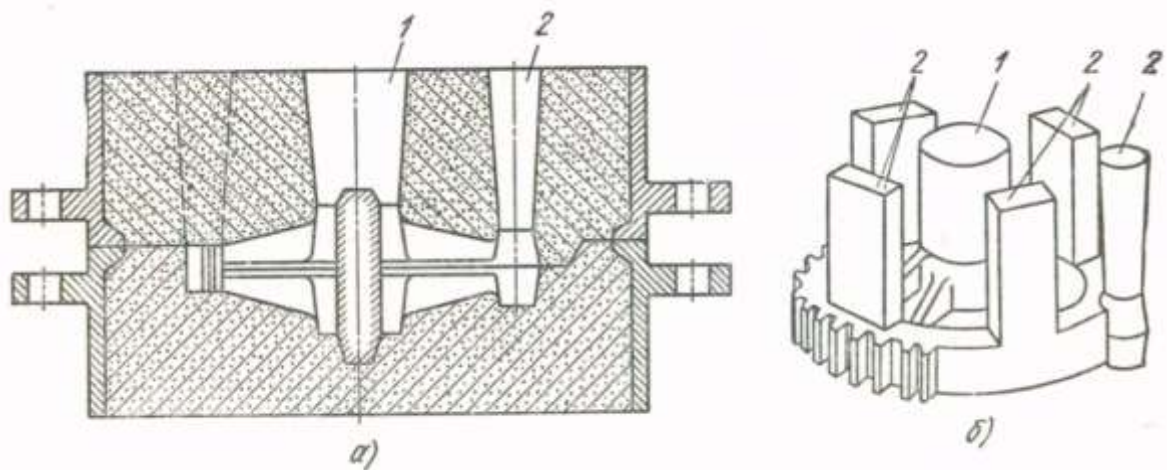


Рисунок 7.5 – Форма для виливків з вуглецевої сталі:  
а – форма; б - виливок

- виготовлення форм для виливків з мідних сплавів.

При виготовленні форм (рис. 7.6) необхідно враховувати, що мідні сплави характеризуються великою усадкою, порівняно легким окисненням при високій температурі із створенням на поверхні плівки окислів. Бронза, наприклад, має велику схильність до ліквації. Тому для запобігання спаїв і незлиття повинно бути забезпечено плавне заповнення форми сплавом і рівномірне охолодження в ній вилівка. Виливки повинні бути щільними, вільними від усадкових пороків і усадкової пористості.

При виготовленні форм створюють систему живлення усадки вилівка. Наприклад, для алюмінієвої бронзи передбачають підведення металу в форму, який виключає падіння сплаву з висоти, розбризкування і зіштовхування його потоків. Наприклад, якщо відливка складної конфігурації то для її формування використовується модель з двома роз'ємами. Ливникова система підводиться в два яруси 1, внаслідок чого форма виготовляється в трьох опоках. У форму також встановлюють сім стержнів (на рисунку показано порядковий номер послідовності складання стержнів).

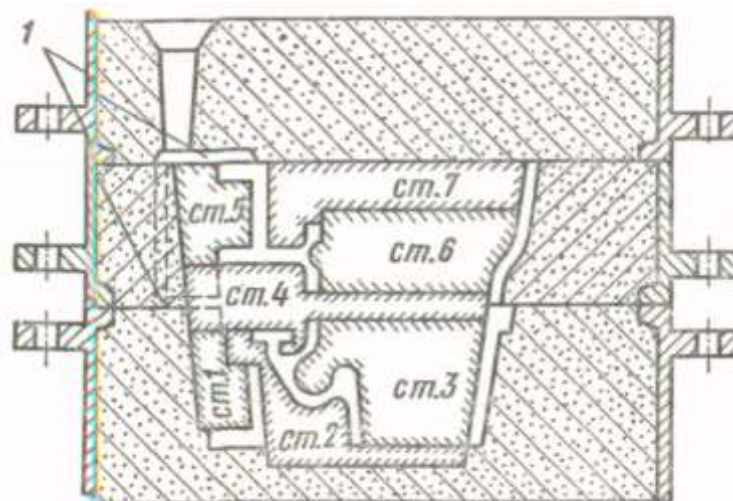


Рисунок 7.6 – Форма для виливків з мідних сплавів

- виготовлення форм для алюмінієвих виливків.

Форми (рис. 7.7) виготовляють з врахуванням ливарних властивостей кожного сплаву. Ливарні властивості алюмінієвих сплавів дуже різні: силуміни мають хороші ливарні властивості, а сплави алюмінію з магнієм – погані.

Приклад виготовлення форми для простої виливки зі сплаву АЛ-24. Для одержання щільної виливки без пор передбачають ливарні добавки 3 і холодильники 1, 5...7 (металеві вкладиші) у всіх місцях, в яких може створитись усадкова пористість. Металеві холодильники пришвидшують процес кристалізації масивних стінок виливка і забезпечують його щільність. Для рівномірної подачі металу в форму застосовують ливникову систему 4 з колектором 2. Сплав, протікаючи по колектору 2, підводиться живильниками до різних частин виливка.

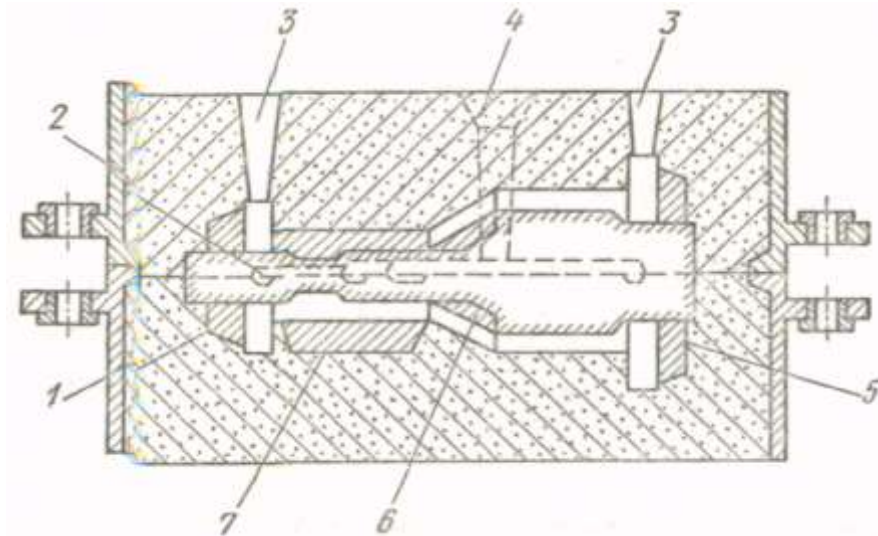


Рисунок 7.7 – Форма для виливків з алюмінієвих сплавів

- виготовлення форм для магнієвого лиття.

Форми (рис. 7.8) виготовляють з врахуванням великої реакційної здатності магнію.

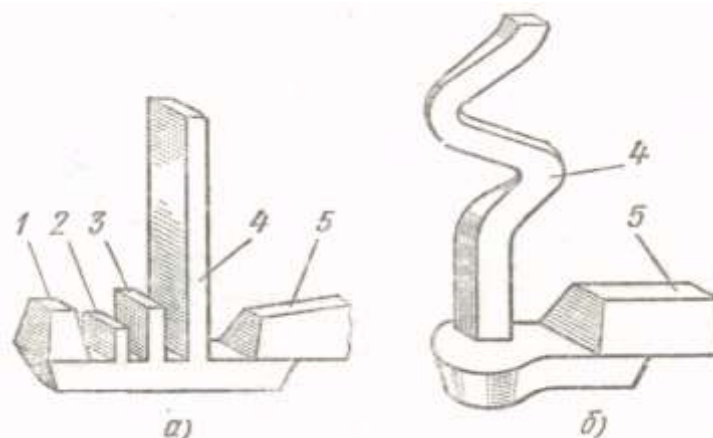


Рисунок 7.8 – Форма для виливків з магнієвих сплавів

Формувальні матеріали застосовують з доданням сірки і борної кислоти. Перед заливанням форму просушують. При виготовленні ливникової системи передбачають плавне, спокійне заповнення форми. Хороші результати дає

залиття з застосуванням змієподібного стояка 4 з гальмуючим рухом металу елементами 5. Для відповідальних виливків застосовують складну ливникову систему з гальмуючими елементами 1...3, 5.

Для усунення небезпеки загоряння магнієвих сплавів під час залиття в форми струмись металу опилують сірчаным порошком. Сірка створює пари і сірчаный газ, який запобігає стиканню металу з повітрям.

- виготовлення форм для тугоплавких сплавів (титану, цирконію, ніобію).

Форми виготовляють з врахуванням того, що ці сплави розкладають окиси алюмінію і кремнію, які входять у формувальні суміші. Тому форми виготовляють з графіту чи міді, останні охолоджують водою. Ливникову систему виготовляють з врахуванням стійкого заповнення форми сплавом. Застосовують додатки і холодильники в місцях найбільшого скупчення металу. Щоб сплав не окислювався, форми заливають у вакуумі.

## 8 СПОСОБИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК З ПЛАСТМАС І ГУМИ

### 8.1 Загальна характеристика матеріалів та групові технології виробництва заготовок з пластмас і гуми

*Пластмаси* – це композиційні матеріали, що виготовляються на основі натуральних і синтетичних полімерів (смола) у суміші з наповнювачами (дерев'яною чи кварцовою мукою, графітом, азбестовим, паперовим, бавовняним і скляним волокном, тканинами, слою, дерев'яним шпоном), пластифікаторами (гліцерином, касторовою та парафіновою олією), стабілізаторами (сажею, фенолом), барвниками та мастилами. Для виготовлення шпаристих і пористих пластмас до сумішей додають газоутворювачі. Залежно від поведінки пластмас у процесі нагрівання їх поділяють на термопластичні та терморективні.

*Термопластичні* пластмаси (термопласти) під час кожного нагрівання переходять у в'язкоплинний стан, а в процесі охолодження тверднуть. До термопластів належать: полістирол, органічне скло, капрон, вініпласт, поліпропілен.

*Терморективні* пластмаси (реактопласти) при нагріванні спочатку м'якнуть, а потім за визначеної температури переходять у твердий, неплавкий та нерозчинний стан і повторно не переробляються. До реактопластів відносяться пластмаси на основі поліефірних, фенолоформальдегідних та інших смол.

*Гума* – це продукт перероблення каучуків (натуральних і синтетичних) в суміші з вулканізаційними речовинами (сіркою, свинцем, бензолом, цинком, окислами магнію), наповнювачами (сажею, окислами кремнію та титану, крейдою, тальком, каоліном, тканинами), барвниками, пластифікаторами та речовинами, що сповільнюють старіння.

Гума відрізняється дуже високою еластичністю та пружністю, здатністю, багаторазово вигинатися, поглинати вібрації, гідро- та газонепроникністю,

стійкістю до дії палива та мастил.

Перевагами пластмасових і гумових заготовок є значний коефіцієнт використання матеріалу, що становить 0,95...0,98; висока стійкість до агресивних середовищ, добрі звуко-, електро- та теплоізоляційні властивості, широкий діапазон твердості, прозорості, малий коефіцієнт тертя, мала питома маса, добра оброблюваність різанням, придатність до виготовлення складних за формою заготовок, можливість їх армування металевими вкладками.

До недоліків заготовок, виготовлених з пластмас і гуми, відносяться невисока міцність, значна повзучість (особливо для термопластів), низькі тепло- та морозостійкість, теплопровідність, здатність до старіння внаслідок дії світла, тепла та води, обмеження в розмірах, що зумовлено розмірами прес-форм.

Для виготовлення заготовок можна застосовувати групову технологію, яка полягає в класифікації деталей і утворенні їх груп, для яких розробляються групові блоки зі змішаними вставками (формо вкладишами). При цьому обійми, виштовхувальні пристрої, опорні площини, напрямні колонки, обігрівальні пристрої та інші частини пресформи залишаються постійними при виготовленні різних заготовок групи. Переналагодження на інший виріб полягає в заміні вставок без зняття блока з машини. Груповий метод має такі переваги:

- скорочується собівартість проектування і виготовлення прес-форм;
- скорочуються терміни підготовки виробництва;
- зменшуються витрати металу на прес-форми;
- достатньо нижчої кваліфікації робітників для проектування і виготовлення прес-форм.

Використання групових блоків зі змінними формо вкладишами економічно виправдовує себе навіть у дрібносерійному виробництві.

## **8.2 Методи виробництва пластмасових заготовок**

До основних способів переробки пластмас у в'язкоплинному стані відносять гаряче пресування, лиття під тиском і витискування. Заготовки з рідких полімерів отримують контактним формуванням, вихровим напиленням, відцентровим і звичайним литтям. Переробку пластмас у високоеластичному стані виконують пневматичним чи вакуумним формуванням і штампуванням. Для виготовлення заготовок з пластмас у твердому стані застосовують розділююче штампування, обробку різанням, зварювання та склеювання.

*Гаряче пресування* застосовують для виготовлення заготовок із термореактивних пластмас з порошковими чи волокнистими наповнювачами. Вихідні матеріали таких пластмас мають вигляд гранул чи таблеток. Нагрівання прес-форми потрібне для переведення пластмаси у в'язкоплинний стан і подальшого її тверднення (полімеризації).

*Пряме пресування* здійснюють у закритих підігрітих прес-формах на гідропресах: пластмасовий матеріал засипають у матрицю та стискають пуансоном, після пресування та тверднення прес-форма відкривається, а готова

заготовка виймається за допомогою виштовхувача. Пресування виконують також у відкритих прес-формах.

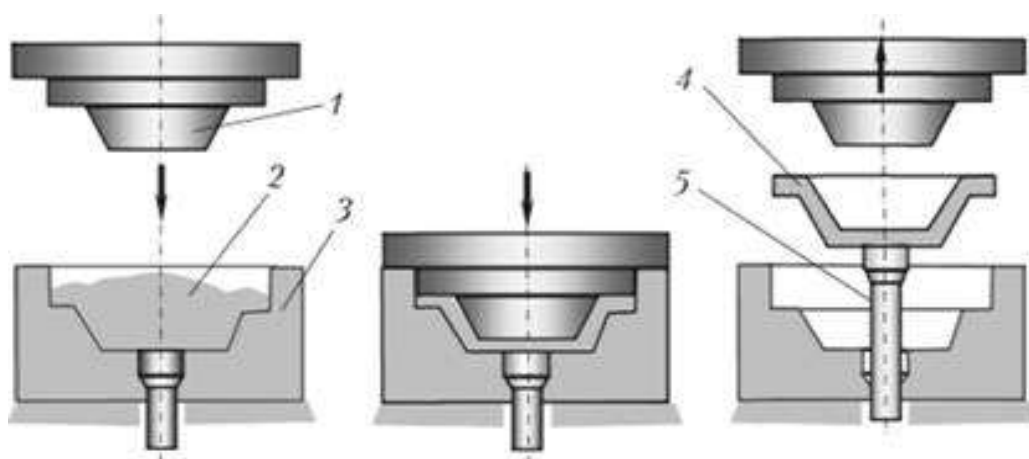


Рисунок 8.1 – Схема прямого пресування заготовок з пластмас:  
1 – пуансон; 2 – пластмаса у в'язко плинному стані; 3 – матриця;  
4 – заготовка; 5 – виштовхувач

У процесі *ливарного* пресування пластмасу засипають у завантажувальну камеру, з якої після нагрівання під тиском пуансона вона перетікає через проміжний пуансон у матрицю прес-форми. Після витримування та тверднення готова деталь виймається з відкритої прес-форми виштовхувачем. Ливарне пресування дозволяє отримувати складні за формою вироби, з глибокими отворами та різью, а також армовані металевими вкладишами. Гаряче пресування проводять при температурі 140...190°C, тиск – 50...70 МПа на кожний міліметр товщини стінки заготовки, час витримки 30...60 с.

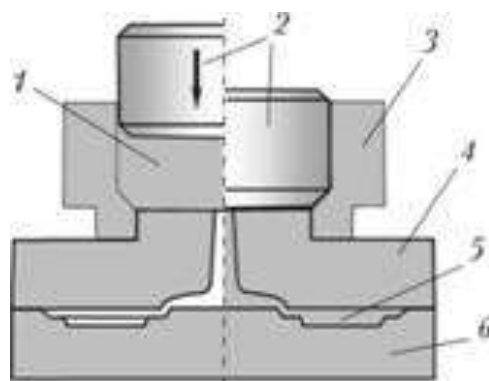


Рисунок 8.2 – Схема ливарного пресування заготовок з пластмас:  
1 – пластмаса у в'язко плинному стані; 2 – пуансон; 3 – завантажувальна камера з підігрівом; 4, 6 – півформи матриці; 5 – заготовка

*Лиття під тиском* здійснюють на спеціальних автоматичних ливарних машинах і застосовують для виготовлення заготовок з термопластів. Процес виконують при температурі 150...300°C і тиску 10...250 МПа. Так отримують

заготовки складної форми, різної товщини стінок, з глибокими отворами та різью, ребрами жорсткості, масою від кількох грамів до 1 кг, з точними розмірами (6...8 квалітетів точності) та шорсткістю  $Ra = 0,16...0,32$  мкм.

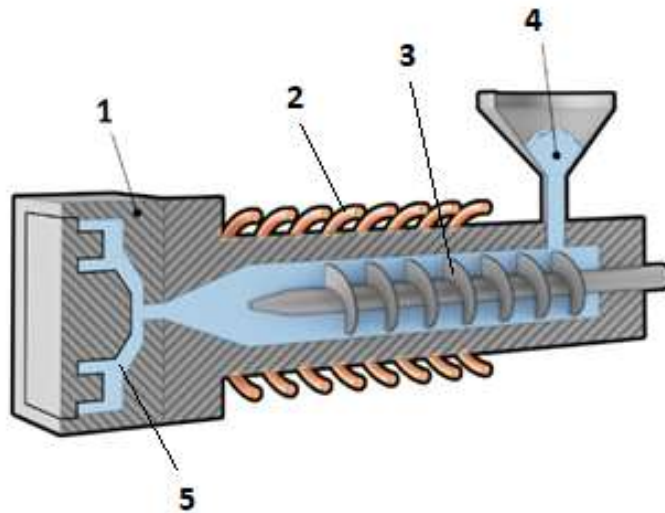


Рисунок 8.3 – Схема лиття пластмас під тиском із шнековою подачею:  
1 – прес-форма із заготовкою; 2 – підігрів; 3 – шнек; 4 – гранули пластмаси; 5 – заготовка

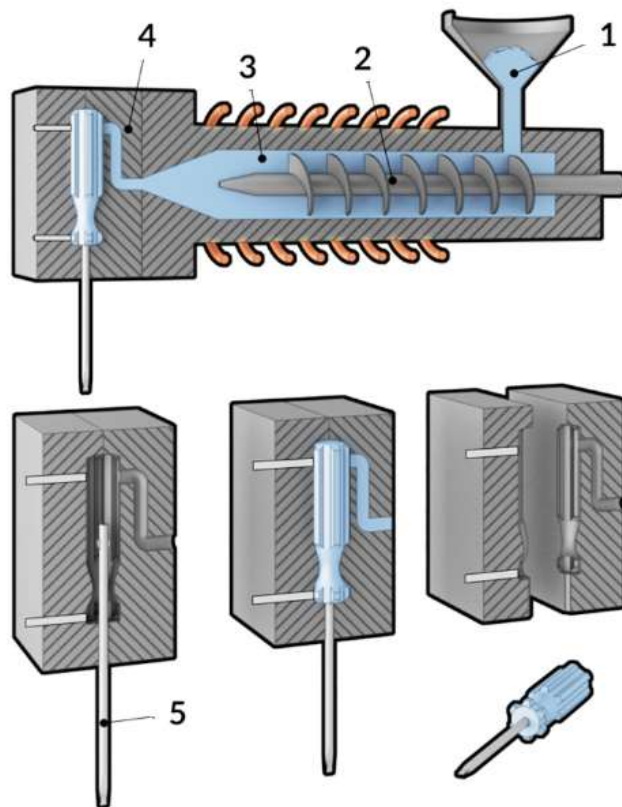


Рисунок 8.4 – Схема виготовлення пластмасової ручки викрутки:  
1 – гранули пластмаси; 2 – шнек; 3 – пластмаса у в'язко плинному стані;  
4 – прес-форма; 5 – металева частина викрутки



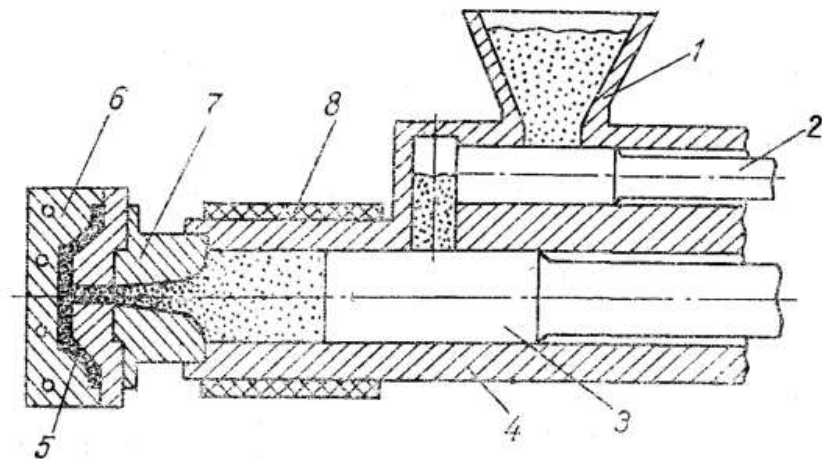


Рисунок 8.5 – Схема лиття пластмас під тиском із поршневою подачею:  
 1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – поршень; 4 – циліндр; 5 – заготовка;  
 6 – форма; 7 – сопло; 8 – електронагрівач

*Витискування* (екструзія) застосовується для виготовлення труб, прутків, профілів різного перетину, стрічок, плівок, нанесення ізоляції на дроти. Процес здійснюють на спеціальних машинах – екструдерах. Матеріалом для виготовлення служить гранульований чи порошковий термопласт.

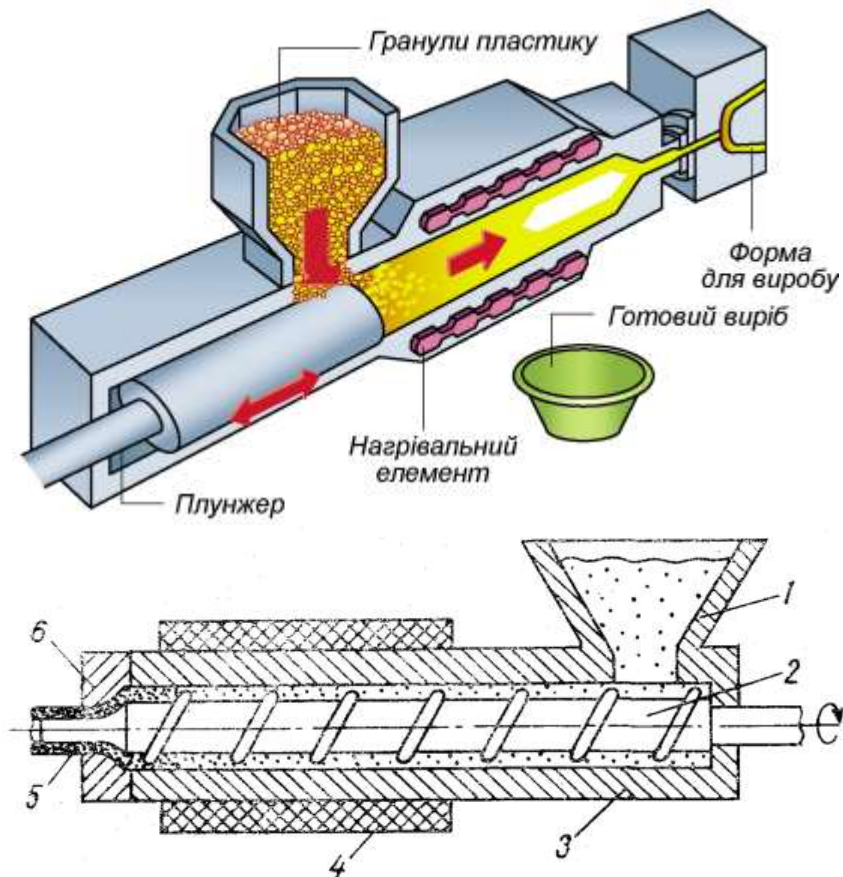


Рисунок 8.6 – Схема безперервного витискування:  
 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – циліндр; 4 – електронагрівач; 5 – трубчаста заготовка;  
 6 – матриця

*Пневматичне формування* – це процес виготовлення значних за розмірами виробів з листових термопластів. Листову вихідну заготовку нагрівають; і притискають між матрицею та колектором, а потім у колектор подають стиснене повітря, що формує заготовку за формою та розмірами порожнини матриці. Виготовляють: порожнисті вироби (баки, пляшки, контейнери, кришки).

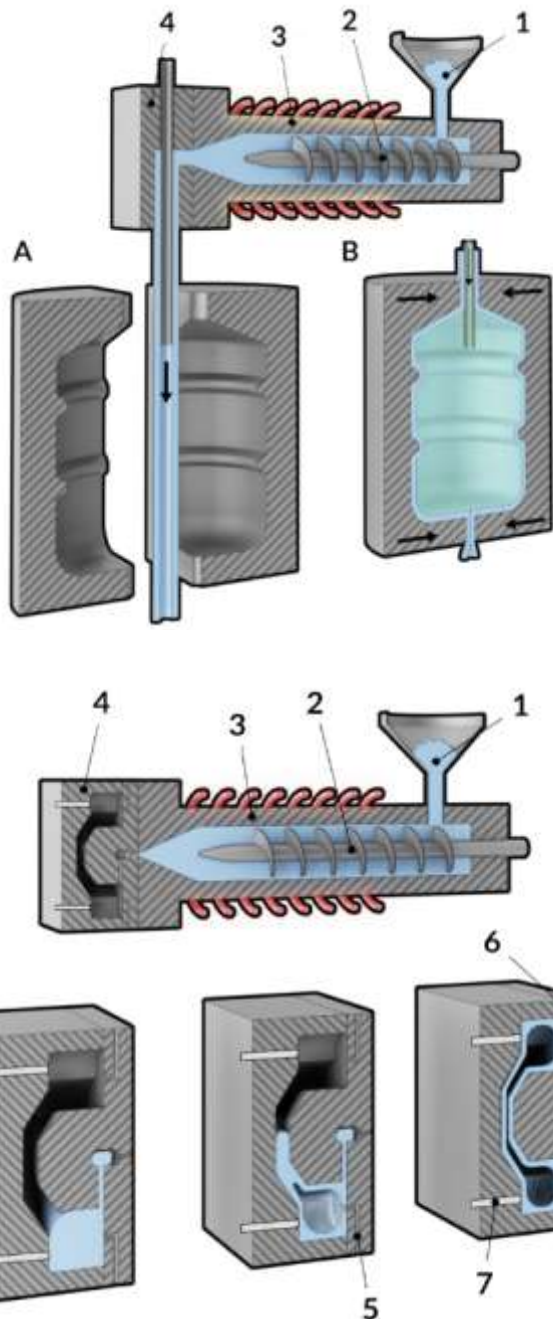


Рисунок 8.7 – Схема пневматичного формування заготовок з листових пластмас:

1 – гранули пластмаси; 2 – шнек; 3 – зона переведення пластмаси у в'язкоплинний стан; 4 – прес-форма; 5, 6 – колектори для подачі повітря; 7 – виштовхувачі

Вакуумне формування виконують подібно до пневматичного за допомогою атмосферного тиску та розрідженого повітря в порожнині між заготовкою та поверхнею матриці. Цей спосіб застосовують для виготовлення простих за формою, невеликих за розмірами та неглибоких заготовок з листового матеріалу товщиною до 2 мм. Для виготовлення заготовок складної форми вдаються до комбінованого пневматично-вакуумного формування.

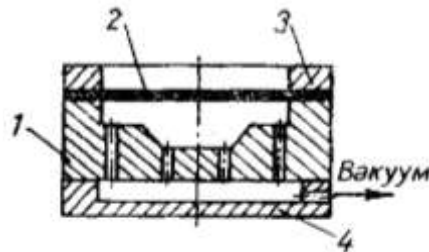


Рисунок 8.8 – Схема вакуумного формування заготовок з листових пластмас: 1 – матриця; 2 – вихідна заготовка; 3 – притискне кільце; 4 – кришка

Контактне формування – це спосіб виготовлення деталей з рідких полімерів, що тверднуть після додавання до них добавок-затверджувачів. Основою для таких полімерів є поліефірні та епоксидні смоли, що добре поєднуються зі скловолокном і склотканиною. Формування виконують за допомогою металевих, дерев'яних, гіпсових, цементних форм. На робочі поверхні форми спочатку наносять розділювальний шар (нітролак, полівініловий спирт), потім шар зв'язувального матеріалу (смоли). Після витримання на цей шар кладуть шар склотканини чи скловати та прикатують гумовим валком. Цей процес повторюють кілька разів залежно від того, яку товщину стінки треба отримати. Після витримання (10...12 год.) виріб твердне. Виготовляють даним способом корпуси човнів, суден, автомобільні крила, кузови.

Штампування – це процес формування з нагрітих листових термопластів у формах-штампах за допомогою матриці та пуансона. Штампування термопластів застосовують для виготовлення неглибоких заготовок типу прозорих, скла для освітлювальних приладів, козирків.

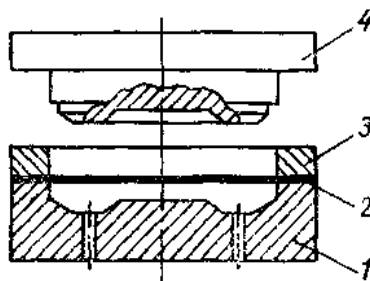


Рисунок 8.9 – Схема штампування листових термопластів: 1 – матриця; 2 – вихідна заготовка; 3 – притискне кільце; 4 – пуансон

*Вихрове напилювання* – цей процес відрізняється від попередніх тим, що всі складові речовини подаються на поверхню форми у подрібненому чи рідкому стані за допомогою пульверизатора.

*Відцентрове лиття* – процес аналогічний відцентровому литтю металів, але у якості матеріалу використовують скловолокнистий наповнювач, змішаний зі смолою. Даним способом отримують порожнисті деталі типу труб з товщиною стінки до 15 мм, діаметром до 1000 мм і довжиною до 3000 мм і більше.

*Зварювання та склеювання* пластмас застосовують в процесі виготовлення складних заготовок чи виробів. Для зварювання використовують теплоносій (нагрітий газ чи інструмент) і нагрівання ультразвуком, тертям, струмами високої частоти (СВЧ).

### 8.3 Виготовлення заготовок з гуми

Заготовки з гуми отримують операціями каландрування, витискування, пресування, лиття під тиском та вулканізації.

Найпоширеніші способи виробництва гумових заготовок: формування з наступною вулканізацією гумової суміші та вирізування заготовок з гумових напівфабрикатів (листів, шнурів, стрічок, прогумованих тканин).

Технологічні процеси виготовлення заготовок з гуми складаються з операцій приготування сирової гумової суміші, отримання з неї заготовок та їх вулканізації. Сирю гумову суміш готують шляхом подрібнення, нагрівання та вальцювання каучуку, перемішування його з наповнювачами, вулканізаційними речовинами та прискорювачами процесу вулканізації.

*Каландруванням* виготовляють листову гуму та прогумовану тканину на каландрувальних станах, що за своїми конструкціями подібні до листопркатних станів для металів. Верхній та середній валки каландра нагрівають до температури 50...90°C, а нижній охолоджують до 15°C.

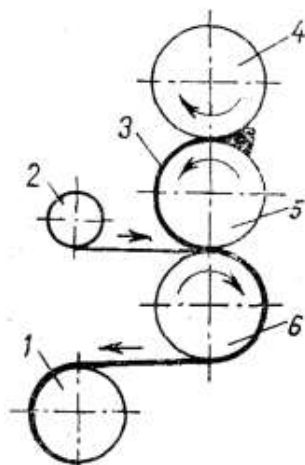


Схема отримання прогумованої тканини каландруванням:

- 1 – приймальний барабан; 2 – барабан з тканиною; 3 – сиря гумова суміш;  
4, 5 – підігрівальні валки; 6 – охолоджувальний валок

*Витискування* виконують за допомогою нагрітого циліндра та матриці аналогічно процесові екструдуння пластмас.

*Пресування* здійснюють у попередньо підігрітих прес-формах з тиском 2...10 МПа. Пресуванням з сирієї гуми чи прогумованої тканини виготовляють клинваті ремені, манжети, муфти, діафрагми.

*Лиття під тиском* гуми аналогічне литтю пластмас.

*Вулканізація* – це процес термічного оброблення під тиском заготовок із сирієї гуми для отримання заданих фізико-механічних властивостей. Вулканізацію виконують в автоклавах і котлах при температурі 130...150°C і тиску 0,1...0,4 МПа.

## **9 ВИРОБНИЦТВО ПОРОШКОВИХ І КОМПОЗИТНИХ ЗАГОТОВОК**

### **9.1 Порошкові заготовки**

Порошкові заготовки, які часто є готовими виробами, широко застосовуються у вузлах тертя (втулки, кільця, вкладиші, накладки, шайби, підкладки) та як конструкційні вироби (кронштейни, маточини, фланці, важелі, шатуни, поршні, гільзи), кінематичні елементи (шківки, зубчасті колеса, зірочки, храповики, кулачки), спеціальні вироби (магніти, фільтри, ізолятори, пластини різальних та вимірювальних інструментів).

Заміна поковок і виливків на ПЗ дозволяє надати їм особливі властивості та знижує їх вартість. Наприклад, поршневі кільця з порошків удвічі дешевші та в 1,5 рази довговічніші за звичайні металеві.



Рисунок 9.1 – Металеві порошки, як вихідні матеріали для порошкових заготовок



Рисунок 9.2 – Типові конструкції порошкових заготовок і деталей

ПЗ та вироби з них класифікують за функціональним призначенням, за складністю конфігурації, за ступенем навантаження і за умовами експлуатації.

За призначенням – антифрикційні, конструкційні та спеціального призначення (магнітні, електроконтактні, жароміцні, жаро- та корозійностійкі, проникні і т.п.).

За складністю конфігурації ПЗ і деталі поділяють на сім груп:

I – незмінний переріз, без отворів, відношення висоти до мінімальної товщини стінки  $1 \div 3$ ;

II, III – незмінний переріз, з одним або кількома отворами в напрямі пресування, відношення висоти до мінімальної товщини стінки  $8 \div 10$ ;

IV, V – із зовнішнім або внутрішнім буртом та відношенням висоти до мінімальної товщини стінки  $6 \div 8$ ;

VI – з кількома переходами за висотою і без отворів;

VII – з кількома зовнішніми або внутрішніми переходами, наявність отворів у напрямку пресування.

За ступенем навантаження заготовки і виробу з порошкових матеріалів ділять на чотири групи:

- малонавантажені: пористість  $25\div 16\%$ , межа міцності  $30\div 45\%$ , пластичність і ударна міцність  $25\div 35\%$ ;
- помірнонавантажені: пористість  $25\div 10\%$ , межа міцності  $45\div 65\%$ , пластичність і ударна міцність  $35\div 60\%$ ;
- середньонавантажені: пористість  $9\div 2\%$ , межа міцності  $65\div 90\%$ , пластичність і ударна міцність  $60\div 90\%$ ;
- важконавантажені: пористість  $2\%$ , межа міцності  $95\div 100\%$ , пластичність і ударна міцність  $90\div 100\%$ .

За умовами експлуатації виробу з порошкових заготовок можуть працювати в:

- нормальних умовах (постійне змащування, тиск і швидкість в межах допустимих для даного матеріалу);
- агресивному середовищі;
- умовах підвищених температур і вологості навколишнього середовища.

Переваги ПЗ: скорочення питомої ваги механічної обробки, підвищення коефіцієнта використання матеріалу ( $90\ldots 95\%$ ), висока точність форми та розмірів заготовок, якість поверхні, можливість отримання композитних матеріалів, матеріалів з великою різницею температури плавлення, матеріалів зі заданими властивостями, нижчі потреби у кваліфікованій робочій силі та виробничих площах, придатність до автоматизації виробництва.

Недоліки: відносна обмеженість форм і розмірів виготовлюваних заготовок, порівняно висока вартість порошкових матеріалів.

## **9.2 Приготування матеріалів для порошкових заготовок**

Матеріал заготовок: порошки металів і неметалевих матеріалів, а також їх поєднання у вигляді нового конструкційного матеріалу. Таким способом отримують конструкційні матеріали, що замінюють вуглецеві та леговані сталі, чавуни та кольорові метали, а також матеріали зі спеціальними властивостями (зносостійкі, пористі, корозійностійкі, фільтрувальні, антифрикційні та фрикційні, композитні, магнітні та немагнітні, теплопровідні та теплоізоляційні, електропровідні та діелектрики).

Порошки для заготовок отримують механічними та хімічними методами (розміри частинок приблизно  $0,5\ldots 500$  мкм).

Механічні методи (порошки з металів, сплавів і неметалів): розпорошування рідкого металу струменем води чи газу під тиском  $50\ldots 100$  МПа, розмелювання стружки та інших відходів металообробки у вихрових чи шарових млинах, роздрібнення твердих і крихких матеріалів (карбідів, оксидів, кераміки) у вібраційних млинах.

Хімічні методи (тільки чисті метали): відновлення металів з оксидів чи солей вуглецем, воднем, природним газом; дисоціація карбонілів (забезпечує високу чистоту порошків).

### **9.3 Виробництво заготовок із порошкових матеріалів**

Технологічні процеси виготовлення ПЗ складається з таких основних операцій: виготовлення порошків, приготування порошкових сумішей, формування, спікання, очищення та контроль якості заготовок.

*Формування* заготовок полягає в ущільненні порошкової суміші під дією тиску з метою отримання заготовки заданої форми та розмірів. Формування, як правило, проводять пресуванням, екструдуюванням та прокатуванням.

Пресування поділяється на:

а) пресування (однобічне, двобічне) виконують у холодних чи гарячих прес-формах під тиском 0,1...2 ГПа. Однобічне пресування здійснюють у матриці одним пуансоном, двобічне – двома пуансонами, що рухаються назустріч один одному. Двобічне пресування забезпечує кращу однорідність заготовок, вищу міцність і щільність матеріалу, вимагає менших зусиль і дає можливість виготовляти заготовки більших розмірів і складнішої форми;

б) гаряче пресування об'єднує операції формування і спікання заготовки. Проводиться у графітових прес-формах з індукційним чи електроконтактним нагріванням при цьому внаслідок нагрівання робочий тиск значно менший, висока якість заготовок. Проте менша продуктивність та швидке зношення прес-форм. Гарячим пресуванням формують переважно заготовки з жаростійких і високолегованих сталей, твердих сплавів, тугоплавких металів;

в) гідростатичне пресування полягає в обтискуванні суміші порошків у спеціальних еластичних (гумових) оболонках за допомогою рідини під високим тиском (до 2 ГПа). Цим методом отримують заготовки значної довжини (циліндри, поршні) з рівномірною щільністю;

Екструдуюванням (витискуванням чи пресуванням матеріалу через отвір матриці) виготовляють прутки та труби різного перетину;

Прокатуванням порошкової шихти між валками формують стрічки, штаби, листи товщиною 0,02...3 мм і шириною до 300 мм з порошків заліза, нікелю, нержавіючої сталі, титану.

*Спікання* проводять електропечах з нейтральним чи захисним середовищем протягом 30...90 хв. при температурі рівній 2/3 температури плавлення основного компонента.

*Калібрування* – додаткове пресування в сталевих прес-формах чи протискування прутка та дроту через отвір у матриці. Процес призначений для отримання заготовок високої точності. При необхідності заготовки піддають термо- чи термохімічній обробці, а пористі інколи просочують розплавленим металом.



## 9.4 Матеріали композитних заготовок

*Композитний матеріал* – це неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів, серед яких можна виділити армуючі елементи, які забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу і матриці, яка забезпечує спільну роботу армуючих елементів.

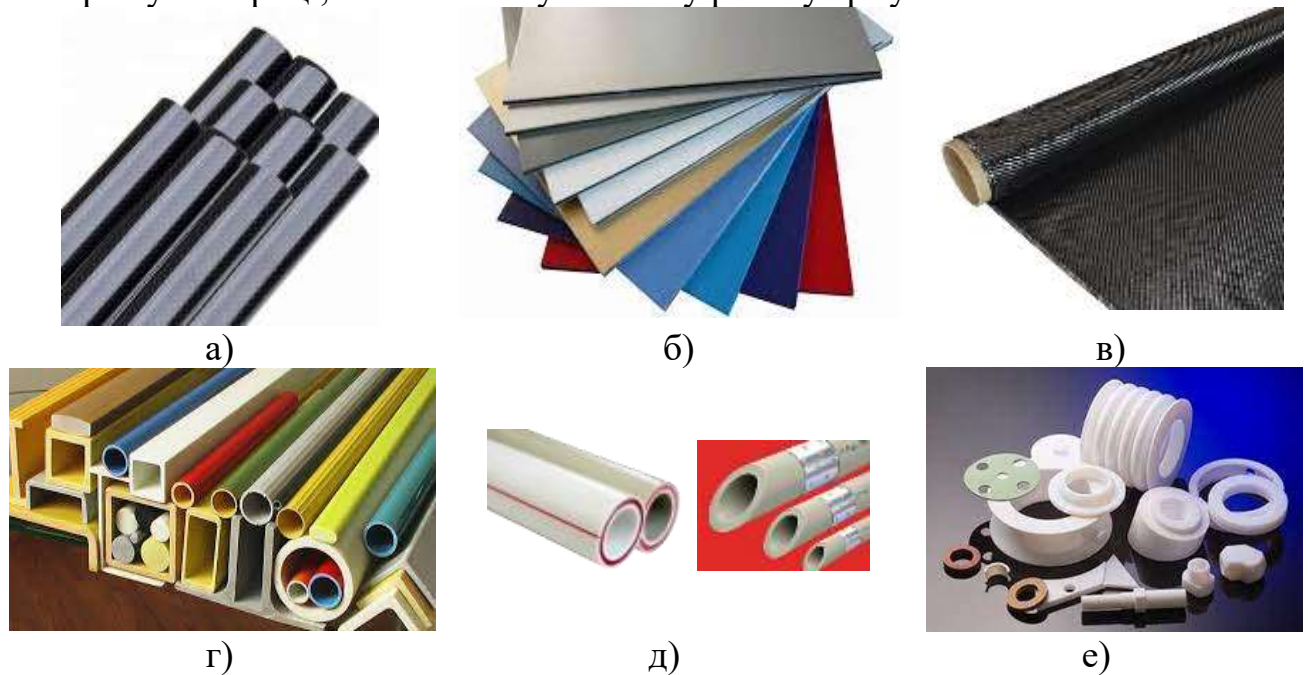


Рисунок 9.3 – Поширені композитні заготовки:  
а) пластикові труби армовані капроновими волокнами; б) алюмінієві композитні панелі; в) вуглеволокно; г) склопластикові труби;  
д) поліпропіленові армовані труби (скловолокно або алюміній);  
е) заготовки із фторопласту (політетрафлуоретен (тефлон)).

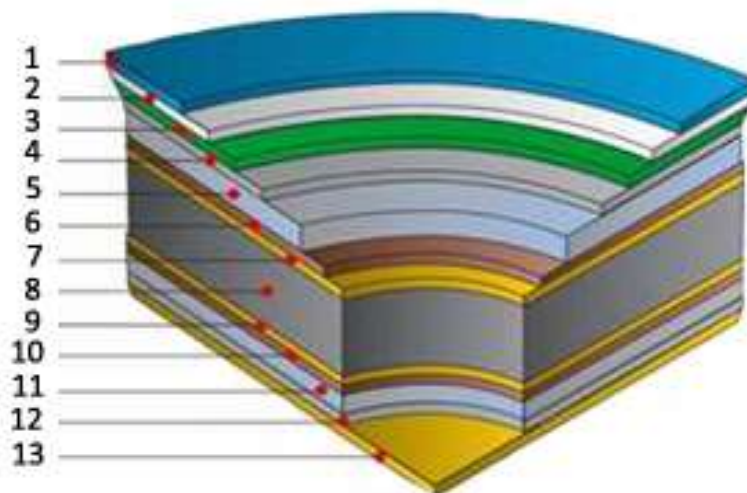


Рисунок 9.4 – Склад алюмінієвої композитної панелі:  
1 – захисне покриття; 2 – покриття PE або PVDF (порошкова фарба);  
3 – ґрунтовка; 4 – протравлена поверхня; 5 – алюмінієвий лист;  
6 – антикорозійне покриття; 7 – клеюча плівка; 8 – пластикова панель;  
9 – клеюча плівка; 10 – антикорозійне покриття; 11 – алюмінієвий лист;  
12 – анодована поверхня; 13 – нижнє покриття.

У металевих КМ *армуючі елементи* – це ниткоподібні кристали, полікристалічні волокна чи металеві дроти сприймають навантаження, а металева матриця передає його армуючим елементам і розподіляє між ними. Властивості металічних композитних матеріалів залежать насамперед від властивостей армуючих елементів, в якості яких використовують борне волокно, вуглецеве волокно, волокна оксидів алюмінію, цирконію, карбїду кремнію, берилієвий, сталевий, вольфрамовий дріт, ниткоподібні кристали нітридів кремнію, алюмінію, оксиду алюмінію, карбїду кремнію.

Як *матричні матеріали* використовують легкі метали та сплави на основі алюмінію й магнію, титан і його сплави, мідь і її сплави, жаростійкі та жароміцні сплави на основі заліза, нікелю і кобальту, тугоплавкі метали та сплави.

*Полімерні композитні матеріали* складаються із полімерної матриці (в'язучого) та зміцнюючого наповнювача у вигляді волокон або порошкоподібних речовин. Найширше як в'язучі застосовуються епоксидні, поліефірні, фенольні, кремнійорганічні та поліамідні смоли.

*Керамічні композитні матеріали* складаються з керамічної матриці та металевих або неметалевих волокнистих наповнювачів.

*Дисперсно-зміцнені сплави* – це композитні матеріали, до яких на одній із технологічних операцій вводять високодисперсні, рівномірно розподілені на заданій відстані частинки, що не взаємодіють активно з матрицею і не розчиняються в ній аж до температури плавлення фаз.

З КМ можливо виготовити різні конструкції виробів, причому різні класи композитів можуть володіти однією або декількома перевагами. Найбільші переваги КМ це високі:

- питома міцність;
- жорсткість (модуль пружності 130...140 ГПа);
- зносостійкість;
- втомна міцність;

Найбільш часті недоліки:

- висока вартість;
- анізотропія (відмінність властивостей матеріалу у різних напрямках) властивостей;
- необхідність спеціального дорогого обладнання та сировини.

## **9.5 Методи виробництва композитних заготовок**

Для одержання заготовок із композитних матеріалів, армованих неперервними і порошковими волокнами, а також ґратами та сітками з волокон, застосовують наступні методи: гаряче пресування, екструдкування, пресування і спікання, лиття. У разі використання деформівних матричних матеріалів композитні матеріали і заготовки з них одержують методами пластичної деформації.

Способи складання вихідних заготовок, ущільнюваних методами обробки тиском, залежать від форми заготовки. Наприклад, трубчасті і пруткові заготовки – прокатуванням, пресуванням, екструдкуванням та волочінням.

Для ущільнення заготовок, армованих крихкими волокнами, застосовують дифузійне зварювання. Заготовки з металевих композитних матеріалів можна одержувати почергово наносячи шари матричного матеріалу та арматури. Шари матричного матеріалу наносять плазмовим напиленням, електролітичним осаджуванням або іншими способами нанесення покриттів.

В основу одержання заготовок з металевих композитних матеріалів із жароміцних нікелевих та кобальтових сплавів покладено ливарну технологію.

Виробництво полімерних композитних заготовок передбачає такі основні операції:

- підготовка арматури;
- приготування в'язучого матеріалу;
- просочення волокон в'язучим матеріалом;
- формування заготовки заданої форми та розмірів;
- затвердіння;
- вилучення оправки.

Заготовкам, які виготовляються намотуванням на оправку, слід надавати простої геометричної форми, щоб використовувати прості суцільні оправки. Керамічні композитні заготовки виготовляють суміщеними процесами і реалізуються методами порошкової металургії. Процеси одержання дисперсно-зміцнених сплавів і заготовок з них – також суміщені і виконуються методами порошкової металургії.

## **10 ПЕРЕДУМОВИ ВИРОБНИЦТВА ПОКОВОК І ШТАМПОВОК**

### **10.1 Технологічність при конструюванні, вибір площини роз'єму і матеріалу**

Вихідними даними для конструювання поковки чи штамповки є креслення деталі, програма річного випуску або серійність виробництва, технічні вимоги до деталі та можливості технологічного процесу механічної обробки. При конструюванні заготовок отримуваних способами ОМТ технологічність конструкції забезпечується шляхом:

- максимального її спрощення (краще заповнення форми рівчака штампа);
- вибору оптимального способу ОМТ;
- отримання максимальної кількості поверхонь, які не потребують мехобробки;
- уніфікації заготовок для різних деталей;
- поділу заготовки на складові частини з подальшим їх з'єднанням;
- штампування однієї заготовки для двох і більше деталей з наступним їх відокремленням (деталі, які виконують спільні функції (шатун і кришка шатуна)).

Загальні рекомендації щодо забезпечення технологічності:

- напрямки волокон матеріалу поковки повинні сприяти покращенню експлуатаційних параметрів якості готової деталі;
- площину рознімання в штампі добирають, виходячи з умови мінімальної висоти його порожнини та зручності виймання готової заготовки;
- важкозаповнювані частини поковки розташовують у верхній частині штампа;
- поверхні поковки, перпендикулярні до площини рознімання штампа, повинні мати нахили (зовнішні - менші, а внутрішні - більші);
- спряження поверхонь поковки повинні мати плавні радіуси заокруглення;
- поковка повинна мати мінімальну кількість ребер, перегородок, отворів.

Призначаючи площину роз'єму штампа потрібно забезпечити добре заповнення форми металом у процесі деформування, належний напрямок волокон у структурі металу, мінімальні напуски та припуски на наступну механічну обробку, вільний вихід поковки із штампа, мінімальну кількість технологічних переходів.

При призначенні матеріалу заготовки враховують його експлуатаційні та технологічні властивості, а також економічну ефективність. Від експлуатаційних властивостей матеріалу залежить виконання деталлю заданих функцій. *Технологічні* властивості визначають можливість ефективно обробляти матеріал доступними технологічними методами чи способами. *Економічна* ефективність конструкційного матеріалу визначається його вартістю, дефіцитністю та технологічними властивостями, від яких залежить економічність методів отримання заготовки та її подальшої обробки.

Залежно від призначення заготовки та способу виготовлення до матеріалу висуваються вимоги, які можна поділити на дві групи: *загальні*, що стосуються матеріалів усіх заготовок, і *часткові* – до матеріалу заготовки заданого способу виготовлення.

Група загальних вимог є наступною:

- 1) хімічний склад і структура матеріалу мають забезпечити стабільні на протязі всього терміну обробки та експлуатації заготовки фізико-механічні та хімічні властивості;
- 2) матеріал повинен мати задані технологічні властивості залежно від способу виготовлення заготовки;
- 3) виробництво та обробка матеріалу не повинні супроводжуватись виділенням токсичних і шкідливих речовин, погіршувати екологію довкілля;
- 4) для отримання матеріалу доцільно застосовувати дешеві та недефіцитні компоненти;
- 5) виготовлення та обробка матеріалу повинні бути економічно доцільними.

Часткові вимоги: матеріали заготовок для штампування чи кування повинні мати високу пластичність, широкий температурний інтервал обробки тиском, низьку схильність до окислення та прилипання поверхні до деформуючого інструменту.

## **10.2 Розміри, технічні вимоги і якість поковок**

Розміри поковки залежать від розмірів готової деталі з врахуванням припусків на обробку різанням. Визначені розрахунковим чи табличним способом припуски беруть за мінімальні, знайдені з їх допомогою розміри заготовок для зовнішніх поверхонь приймають за мінімальні, а для внутрішніх - за максимальні.

Допустимі відхилення лінійних розмірів поковок визначають залежно від номера вихідного індекса, товщини та лінійних розмірів. Радіуси заокруглень визначають залежно від глибини штампувального рівчака та маси поковки. Допустимі відхилення кутових розмірів, зігнутості, радіусів заокруглення визначають залежно від маси та класу точності. Штампувальні нахили призначають залежно від типу устаткування, наявності виштовхувачів та розташування поверхні (внутрішня, зовнішня). Менші значення кута нахилу призначають для зовнішніх поверхонь.

Радіуси заокруглень у місцях стикання поверхонь поковки повинні забезпечувати належну її конфігурацію та можливість вільного перетікання металу під час його деформування. Внутрішні радіуси повинні бути у 2...3 рази більшими від зовнішніх. З метою уніфікації інструменту числові значення радіусів приймають однаковими.

Припуск визначається як сума основного та додаткового значень, що враховують відхилення форми поверхні поковки. Основні припуски на обробку різанням визначають згідно нормативних даних залежно від номера вихідного індекса, лінійних розмірів і шорсткості поверхні деталі. Додаткові припуски визначають залежно від маси поковки та класу її точності з врахуванням відносного зсування окремих елементів поковки, зігнутості, відхилення від площинності та прямолінійності, відхилення міжцентрової та міжосьової відстаней, кутових розмірів.

Встановлені у стандартах значення припусків вважають мінімальними тому будь-які заокруглення при розрахунках і конструюванні поковок проводять за умови збільшення припусків.

У технічних вимогах вказують допустимі відхилення розмірів, допуски форми та взаємного розташування поверхонь поковок, їх шорсткість, марку матеріалу, твердість поверхневих шарів, допустимі дефекти, їх назву, припустимі розміри, кількість, місцезнаходження, припустимість і способи виправлення дефектів, покриття поверхонь поковки.

Технічні вимоги записують на кресленні окремим текстом чи посиланням на відповідні стандарти або нормативи.

Найпоширенішими видами браку поковок є ризки і подряпини на поверхні, тріщини, згортки та складки, плени (розкатані застигли бризки рідкої сталі), розшарування, забруднення, флокени, відхилення у хімічному складі матеріалу, формі та розмірах поковки. У процесі штампування дефектами можуть також бути вм'ятини, забоїни, незаповнення форми, жолоблення.

Відхилення від режиму нагрівання призводить до недогрівання (поява тріщин); перегрівання (ріст зерен і зниження механічних властивостей матеріалу); перепалювання (оксидації та розплавлення країв зерен, втрата

пластичних властивостей); циндра (шар окисованого металу); вигорання вуглецю в поверхневому шарі (зниження втомної міцності та твердості).

Поширені дефекти внаслідок неякісних вихідних заготовок:

*риски* – дрібні подряпини, які проглядаються до дна, глибиною  $0,2 \div 0,5$  мм. Виникають із-за задирів на прокатних валках;

*волосовини* – тонкі подряпини, що проглядаються до дна, глибиною  $0,5 \div 1,5$  мм. Виникають із-за підкіркових газових бульбашок у відливках;

*закати* – задирки, закатані у вигляді складок глибиною понад 0,5 мм. Виникають із-за неправильного калібрування або зношування рівчаків прокатних валків;

*пліви* – плівки, товщиною до 1,5 мм, що відшаровуються з поверхні заготовки. Причина виникнення – бризки сталі, застигли на стінках лиття.

Усуваються вище вказані дефекти зачищенням або вирубуванням. А такі дефекти як:

*розшарування* – розриви суцільності матеріалу поковки. Причиною є усадочні раковини або крихкості, краї яких при штампуванні витискуються в задирку;

*флокени* – скупчення найдрібніших звивистих тріщин, що виникають через об'ємні зміни в процесі охолодження відливок, коли нерозчинений водень створює в мікрооб'ємах тиск, який перевищує міцність сталі;

*чужорідні включення* – виникають через попадання в рідку сталь шлаків, піску та інших відмінних від основного сплаву матеріалів.

Дані дефекти, у більшості випадків, є не виправними. Дефекти, які виникають при порізці вихідних заготовок:

*косий зріз* – виникає через збільшений зазор між ножами, невідповідність вирізів у ножах розрізувального профілю або неправильний кут між розрізувальною штангою і передньою площиною ножів, недостатнє зусилля притискання прутка;

*задири, викривлення кінця заготовки, грубий зріз, відколювання з виривом металу* – виникають через надто великий або надто малий зазор між ножами;

Ці дефекти практично не виправні, деколи вдається зачистити.

Дефекти, які виникають при нагріванні заготовок:

*недогрів* – метал має знижену пластичність, утворюються тріщини при штампуванні. Виникає внаслідок недостатньої температури в об'ємі заготовки, через надмірну швидкість нагрівання, недостатню витримку в печі або температуру. Можна виправити додатковим нагріванням;

*перегрів* – приводить до значного росту зерна та зниження механічних характеристик металу. Виникає при сильному нагріванні заготовки або закінченні її штамповки за температур, які значно перевищують оптимальну. Можна усунути нормалізацією;

*перепал* – окислення або оплавлення меж зерен сталі з повною втратою пластичних властивостей, що виникає через тривале окислювальне нагрівання за високих температур ( $1300 \div 1350^\circ\text{C}$ ). Усунути неможливо;

*окалина* – шар окисленого металу на поверхні заготовки (до 2÷3% маси нагрітого металу). Залишає вм'ятини на поковках і прискорює зношування штампів та різальних інструментів. Можна усунути ретельним очищенням;

*зневуглецьована поверхня* – збіднені вуглецем поверхневі шари заготовки, товщина яких може перевищувати фактичний припуск на обробку. Приводить до зниження втомлюваної міцності і твердості термооброблених деталей.

Дефекти, які виникають при штампуванні:

*вм'ятини* – сліди заштампованої, а потім вилученої з поковки окалини глибиною до 5 мм. Виникають через недостатньо ретельне зчищення окалини з нагрітої заготовки;

*забоїни* – механічні пошкодження при видаленні поковок зі штампа. Виникають при застряганні поковок у штампі, перекиданні гарячих поковок, попаданні сторонніх предметів у обрізні штампи;

Можна виправити ці дефекти штампуванням у незношеному штампі. Наступні поширені дефекти це:

*брухт-бій* – причиною виникнення є зміщення поковки з нижньої фігури штампа при штампуванні або обрізанні задирки. Не виправляється;

*не заповнення штампа* – відхилення від заданих геометричних розмірів через не заповнення чистового рівчака штампа біля виступів, кутів, заокруглень і ребер. Виникає через недостатнє нагрівання заготовки або число ударів при штампуванні, зношений або неправильно сконструйований штамп, а також недостатня маса, довжина, або невідповідний профіль вихідної заготовки. Незначне не заповнення можна виправити перештампуванням;

*недоштамповування* – збільшення всіх розмірів поковки понад допуск у напрямі, перпендикулярному до основної площини рознімання. Виникає через недостатнє нагрівання заготовки, число ударів штампа у остаточному рівчаку, або маси падаючих частин молота, штамп із недостатньою виїмкою під задирку, надмірну масу або збільшений профіль заготовки. Брак виправляється обробкою в механічних цехах окремими партіями з попереднім обдиранням;

*перекіс* – зміщення понад установлений допуск однієї половини поковки відносно іншої по площині роз'єму. Виникає через несправності устаткування (збільшений зазор у напрямних, вироблення площин штампотримача та інші) або штампів (збиті замки, вироблення кріпильних площин, неврівноважене розняття штампа і т. д.) погане встановлення та закріплення штампів. В окремих випадках можна виправити перештампуванням на справному устаткуванні, у разі незначних перекосів – шліфуванням базових поверхонь;

*задирка* – не зрізаний залишок облою. Виникає через погане встановлення й припасування штампів, зміщення поковки в обрізній матриці. Усувається шліфуванням наждачним кругом;

*відхилення по довжині* – виникає через різну температурну усадку за об'ємом поковок під час штампування, нестабільність довжини заготовок, неправильну конструкцію та встановлення упорів у штампах під час висаджування та гнуття. Невиправний брак;

*жолоблення* – застрягання поковок (особливо з великою поверхнею та тонкими перерізами) під час штампування на КГШП та виштовхування їх із рівчака з найменшими нахилами ( $0,5 \div 2^\circ$ ). виправляється перештамповуванням;

*зовнішнє відколювання* – поверхневий надрив типу «йоржика». Утворюється через різні швидкості переміщення металу на межах мертвих зон за великих західних кутів матриць. Усувається зниженням швидкості деформування, поліруванням стінок матриці, правильним підбором мастильного матеріалу;

*внутрішнє відколювання* – внутрішня закрита порожнина. Виникає через дуже пластичний матеріал і великий кут матриці. Брак не виправний.

Дефекти, які виникають при очищенні поковок від окалини:

*залишки окалини* – недостатнє очищення, або застосування невідповідних способів очищення. Усувається додатковим очищенням;

*забоїни, вм'ятини* – спільне очищення крупних і дрібних заготовок в барабанах чи установках. Усувається перештамповуванням.

### **10.3 Підбір основного та допоміжного устаткування для процесів ОМТ**

Правильний добір основного устаткування дає змогу забезпечити не тільки належну якість заготовок, але й економічну ефективність їх виготовлення, необхідну продуктивність праці, економію витрат на енергію, матеріали, інструмент і технологічне спорядження, поліпшення умов праці. Сучасне устаткування достатньо складне, дороге та громіздке, відповідно не завжди вдається замінити його вчасно, як цього вимагають виробничі обставини, особливо в умовах багатонаменклатурного чи гнучкого виробництва. Ковальсько-пресове устаткування добирають відповідно до його призначення з урахуванням типу виробництва, форми та розмірів заготовок.

Вибір устаткування здійснюють за його основним параметром, яким для молотів є маса падаючих частин, а для пресів – максимальне зусилля штампування.

Для вільного кування масу падаючих частин знаходять за формулою

$$G = 1,5 \cdot 10^5 \cdot p \cdot V \cdot e, \text{ кг}$$

де  $p$  – потрібний тиск для деформування матеріалу, МПа;

$V$  – об'єм деформованого матеріалу,  $\text{м}^3$  (наближено рівний об'єму заготовки);

$e$  – ступінь деформування для останнього удару молота (для великих поковок  $e = 0,025$ ; для малих  $e = 0,060$ ).

Необхідне максимальне зусилля штампування

$$P = \psi \cdot p \cdot S, \text{ МН}$$

де  $\psi$  – коефіцієнт, що враховує масу поковки (для малих поковок  $\psi = 1,0$ ; для великих  $\psi = 0,4$ );

$S$  – площа поперечного перетину заготовки в зоні деформування,  $\text{м}^2$ .

Нагрівальні печі в ковальсько-штампувальному виробництві класифікують за режимом нагрівання на камерні та методичні, за способом



завантаження та вивантаження заготовок на періодичні та безперервні, за джерелами отримання тепла вони є електричні та полум'яні, за способом використання вихідних газів – рекуперативні та регенеративні, за видом палива – газові, рідинні та твердопаливні.

У ковальських цехах для нагрівання заготовок залежно від маси та серійності їх виготовлення застосовують печі періодичної дії, одно-, двокамерні, щілинні, з висувним дном (з одним та двома візками), методичні (перекочувальні з нахиленим дном і з штовхачами), шахтові. У штампувальних цехах використовують печі камерні (щілинні, вічкові та з захисною атмосферою), напівметодичні, методичні, карусельні (з обертовим ходом або корпусом), конвеєрні (з внутрішнім і зовнішнім розташуванням конвеєра), спеціальні (для швидкісного нагрівання), індукційні, електроконтактні, електрорезистивні, а також рідинноскляні та соляні ванни.

Для безокислювального нагрівання застосовують нагрівання в атмосфері неповного згоряння палива (за недостатньої кількості кисню). Для підвищення температури та коефіцієнта корисної дії печі паливо остаточно спалюють у верхніх її шарах шляхом подання туди додаткового кисню.

У процесі нагрівання металу в печах тепло передається випромінюванням, конвекцією та теплопровідністю. Конвекцією передається лише від 3 до 8% тепла.

Теплопровідність забезпечує вирівнювання температури в тілі заготовки. Зараз у кузнях переважають газові полум'яні печі. Найкращі умови для нагрівання заготовок створюють електричні нагрівачі (контактні, резистивні, індукційні, електролітні).

Перевагами електронагрівання є економія металу, що зумовлена зменшенням його вигорання в умовах відсутності надлишку кисню; більша стійкість штампів внаслідок зменшення кількості циндри (окалини), що спричинює їх абразивне зношування; вища продуктивність праці, яка забезпечується можливістю швидкого нагрівання заготовок; кращі умови праці; вища якість заготовок, що пояснюється рівномірністю нагрівання та можливістю краще керувати температурним режимом; відсутність циндри та необхідності очищення кованок від неї.

Недоліком електронагрівання є його порівняно висока вартість.

Добирають спосіб електронагрівання згідно з рекомендаціями довідкової літератури з урахуванням експлуатаційних характеристик електроустаткування. Наприклад, високопродуктивне індукційне нагрівання доцільне для нагрівання круглих, квадратних і штабових заготовок, а використання його для нагрівання фасонних заготовок вимагає складного та дорогого спорядження й устаткування.

#### **10.4 Устаткування для очищення та транспортування поковок**

Для забезпечення; високої якості поверхонь кованок їх потрібно очищувати як перед, так і після нагрівання, кування та штампування від поверхневих дефектів, циндри, іржі та забруднень. Залежно від технічних

вимог до якості поверхонь кованки застосовують різні способи та засоби для їх очищення.

Для виконання операцій очищення кованок застосовують шротоструменеве оброблення в спеціальних барабанах, галтування в обертових барабанах з абразивними та металевими елементами, витравлювання в кислотних ваннах.

Очищують кованки великих розмірів спеціальними очищувальними агрегатами зі сталевими щітками, абразивними кругами.

*Механічне очищення* кованок виконують на обдирально-шліфувальних верстатах, переносними шліфувальними машинами, щітками, зубилами, молотками, роликами, скребками.

*Гідравлічне очищення* кованок здійснюють за допомогою гідроапаратів, пневматичне струминно-абразивне – піскоструминними машинами; гідроабразивне – ручними моніторами, барабанами, контейнерними механізмами.

Енергоносієм для пневматичного та гідравлічного очищення є стиснене повітря тиском 0,2...0,5 МПа, яке спрямовує сухий абразивний матеріал чи абразивну рідину на оброблювану поверхню зі швидкістю 30...60 м/с. Сухе пневмоабразивне очищення обмежене у використанні через підвищену концентрацію пилу на робочому місці.

*Віброабразивне очищення* здійснюється частинками абразивного середовища під час їхнього коливання в контейнері, що з'єднаний з вібраційним приводом. Залежно від складності форми кованок за абразивне середовище вибирають крихти абразивних кругів, порцеляновий бій, зірочки з відбіленого чавуну та електрокорунду, дрібні штамповані кованки. У разі мокрого способу очищення крім абразивного наповнювача в контейнер наливають активні розчини лугів з інгібіторами.

*Галтування у барабанах* виконують двома способами: мокрим, коли разом з кованками в барабан завантажують абразивні матеріали (пісок, граніт, порцеляну, чавунні зірочки, сталеві кульки) з додаванням водного розчину мила або соди та сухим, коли кованки завантажують в барабан з абразивними частинками чи без них, але без водних, розчинів; мила чи соди. Сухим галтуванням усувають задирки та досягають шорсткості поверхонь кованок до 10 мкм за параметром Ra, а мокрим – до 0,63 мкм. Галтуванням очищають здебільшого дрібні кованки.

*Шротометний та шротоструминний способи очищення* кованок виконують у спеціальних апаратах з обертовими барабанами, столами та камерами періодичної чи безперервної дії за допомогою чавунного та сталевого шроту. Використання цього способу очищення кованок дає змогу одночасно підвищувати твердість і зносостійкість оброблюваних поверхонь. Цими способами звичайно очищають дрібні та середні кованки складної форми.

*Хімічне витравлювання* використовують для очищення кованок, що пройшли попередню та остаточну термообробку. Хімічний склад витравлювального розчину призначають залежно від марки матеріалу кованок.

Цей спосіб застосовують для складних за формою поковок. Використання його обмежене вимогами екологічної чистоти виробництва.

Для транспортування заготовок у процесі їх оброблення, завантажування та виймання з технологічного устаткування застосовують:

- бункерні, орієнтувальні, видавальні, транспортувальні та завантажувальні пристрої;
- захватні механізми, відсікачі, виштовхувачі, склізи, стелажі, магазини;
- кліщові, шибєрні, грейферні та револьверні механізми;
- механічні руки, маніпулятори, роботи;
- рейкові та підвісні кантувальники;
- намотувальні, розмотувальні та виправні пристрої;
- штабо- та листоскладальні машини;
- засоби транспортування, зняття та встановлення технологічного устаткування, спорядження та інструментів;
- оберткові крани, підвісні конвеєри, роботи, клинозабивальні машини.

## **11 ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ**

### **11.1 Загальні відомості про способи обробки матеріалів тиском**

Способи ОМТ класифікують за температурою, швидкістю деформування металу, за формою вихідної заготовки, типом основного обладнання чи штампів.

У процесі ОМТ деформуються кристали металів, створюється шарувата структура, з'являється анізотропія (відмінність властивостей матеріалу у різних напрямках) властивостей, зростають внутрішні напруження. Нагрівання металу вище від температури рекристалізації зумовлює утворення нових кристалів і відновлення властивостей металу, які він мав до деформування. Температура рекристалізації становить 0,3...0,4 температури плавлення для чистих металів і 0,6...0,8 температури плавлення для сплавів.

Розрізняють холодну, напівгарячу та гарячу ОМТ. Температурний інтервал гарячої обробки металів тиском становить: для сталей – 750...1280°C, для мідних сплавів – 700...900°C, для титанових сплавів – 900...1100°C, для алюмінієвих сплавів – 400...470°C.

У заданих межах нагрівання опір металу деформуванню змінюється у 4...5 разів, швидкість у 5...6 разів, а товщина знеуглецьованого шару сталей збільшується до 1,5...2 мм. При температурі нижчій за температуру рекристалізації ОМТ називають холодним, а при вищій – гарячим.

Значно впливає на якість заготовок швидкість їх нагрівання та охолодження. Температурний інтервал гарячого ОМТ є одним з основних термомеханічних параметрів, що визначають ефективність технологічного процесу виготовлення заготовки. Для одного й того ж матеріалу температурний інтервал кування та штампування може мати різні значення, оскільки кування виконується кількома ударами, а штампування – за один хід. Окрім цього, під

час кування та штампування відбуваються різні процеси деформування та втрат тепла.

Температурний інтервал ОМТ залежить від марки матеріалу, структури технологічного процесу, швидкості та ступеня деформування, схеми напруженого стану та маси заготовки. Чим складніший хімічний склад сплаву, тим вужчий температурний інтервал гарячого ОМТ. Для великих значень швидкості та ступеня деформування потрібно враховувати можливість перегрівання металу теплом, виділеним у процесі деформування. Тому поруч з припустимими межами гарячого ОМТ відрізняють ще й раціональні, які визначають на підставі досвіду здійснення такої обробки для конкретних умов виробництва.

Не менш важливе значення мають процеси охолодження заготовок після гарячого ОМТ. Залежно від марки матеріалу, розмірів і мас заготовок використовують такі способи їх охолодження: в теплоізольованих матеріалах (трепел, доменний шлак, мінеральна вата, кам'яновугільний шлак, пісок, гравій); у термосах і неопалюваних колодязях; в опалюваних колодязях і спеціальних печах. Дрібні та середні за масою поковки охолоджують на відкритому повітрі.

Холодне деформування проходить за таких температуро швидкісних умов, коли в матеріалі відбувається тільки процес зміцнення (наклепування). Утворюється волокниста структура, зменшується пластичність, зростає міцність та анізотропія механічних властивостей металу. Зміни властивостей матеріалів у процесі холодного ОМТ можуть як позитивно, так і негативно впливати на якість заготовок. Наприклад, механічна анізотропія в процесі глибокого листового витягування може викликати крихке руйнування заготовок або, навпаки, збільшувати їх жорсткість і міцність.

Гаряче деформування проходить за таких температуро швидкісних умов, коли в матеріалі одночасно відбуваються два процеси: наклепування (зміцнення) та рекристалізація (ослаблення). В процесі гарячого ОМТ поліпшуються механічні властивості, мікро- та макроструктура матеріалу (дрібнозернистість, волокнистість), що дає змогу забезпечувати максимальну міцність у заданих напрямках заготовок відповідальних деталей, (валів, роторів, лопаток, ресор і т.п. виробів).

Залежно від основного устаткування та його спорядження розрізняють такі способи обробки: прокатування, кування, об'ємне та листове штампування, штампування та гнуття прокату, пресування, волочіння, вальцювання, накатування.

## **11.2 Виробництво заготовок прокатуванням і вільним куванням**

*Прокатування* – це найпродуктивніший вид обробки металу і цим способом обробляють близько 80% виплавленої сталі на металургійних заводах. *Прокатуванням* називають такий вид обробки металів тиском, коли гарячу заготовку обтискують між обертальними валками, які її пластично деформують, зменшуючи площу поперечного перерізу і збільшуючи довжину.

Заготовки для сортового прокату – це *блюми* (бруски перерізом від 150x150 до 450x450 мм), а для листового прокату – *сляби* (товсті плити завтовшки до 350 мм). Сортамент заготовок отримуваних прокатуванням: прокат (круглий, квадратний, штабний, кутовий, листовий), труби, швелери, арматура, двотаври, дріт, рейси і т.п.

Основні способи прокатування: повздовжнє, поперечне, періодичне, поперечно-гвинтове.

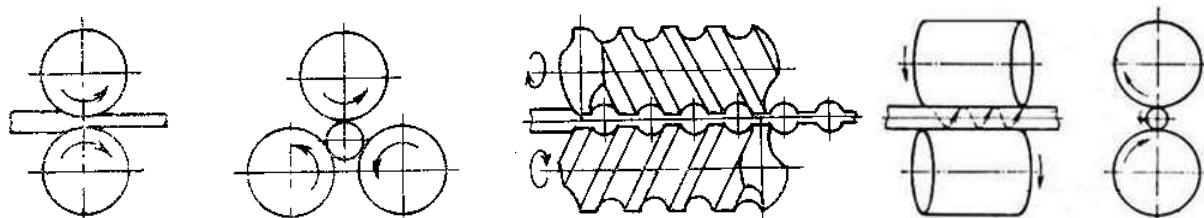


Рисунок 11.1 – Способи прокатування: повздовжнє; поперечне; періодичне, поперечно-гвинтове

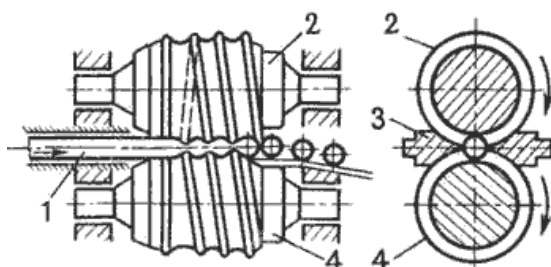


Рисунок 11.2 – Схема прокатування кульок: 1 – вихідна заготовка, 2, 4 – прокатні валки, 3 – підтримуючі упори

Прокатування здійснюється на прокатних станах. Інструментом для прокатування є валки (чавунні або сталеві). Валки для прокатування відливають з відбіленого чавуну або з вуглецевої чи легованої сталей. Їх роблять гладенькими або каліброваними, з канавками (рівчаками) по колу. Перші застосовують для прокатування листів, другі – для сортового і фасонного прокату. Профіль, утворений суміжними канавками двох валків, називають калібром. Валки калібрують з урахуванням найбільшого обтиску при кожному пропусканні, щоб кількість пропусків була найменшою. Прокатні стани розрізняють за призначенням, кількістю валків у кліті, кількістю клітей і схемою їх розміщення.

За призначенням прокатні стани бувають обтискні, заготовочні, сортові, листові і спеціальні. Як правило спочатку заготовку прокатують на обтискному стані, потім на заготовочному, сортовому, листовому або спеціальному.

Під час поперечного прокатування валки обертаються в одному напрямі і осі їх паралельні, а заготовка деформується ними при обертанні навколо своєї

осі. Методом поперечної прокатки на спеціальних станах із зубчастими валками виготовляють зубчасті колеса, зірочки ланцюгових передач.

При поперечно-гвинтовому (косому) прокатуванні валки обертаються в одному напрямі, а осі їх розташовані під деяким кутом, тому заготовка під час обробки не тільки обертається, але й переміщується поступально вздовж своєї осі. Цей метод застосовують для виготовлення безшовних труб, куль, осей.

За кількістю валків і їх розміщенням стани бувають дво-, три-, чотири-, багатовалкові та універсальні. Двовалкові стани бувають реверсивні (заготовку прокатують в обидві сторони) і неревверсивні (прокатування в одну сторону).

Тривалкові стани мають у робочій кліті три валки з постійним напрямом обертання. Прокатування на таких станах проводять в одну сторону між нижнім і середнім валками, а в іншу – між середнім і верхнім.

У чотири-шестивалкових станах верхні і нижні валки є опорними, вони не дають середнім робочим валкам прогинатися; цю схему застосовують у листових станах.

У клітях з 12...20 валками забезпечується ще більша жорсткість робочих валків, їх використовують для холодного прокатування стрічки товщиною до 0,001 мм.

Універсальні стани мають горизонтальні та вертикальні валки і забезпечують обтискання чотирьох сторін.

Основними перевагами даного способу є висока продуктивність устаткування, якість металу та поверхонь заготовок, підвищена зносостійкість і міцність поверхневих шарів заготовок, придатність до механізації та автоматизації, низька вартість і трудомісткість виготовлення заготовок. Недоліки: обмежена номенклатура виробів.

*Кування* – це деформування заготовки між бойками молота або преса. Розрізняють кування машинне (молотом або пресом) та ручне. Куванням виготовляють прості за формою заготовки масою до 300 т. і здебільшого в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва. Основні операції: розділювальні, формозмінювальні та загальні. До розділювальних операцій належать відрубубування, надрубубування, ламання. Формозмінювальні операції – це осаджування, протягування, передавання, розганяння, прошивання, обтиснення, вигинання, закручування. Нагрівання, обдування, змащення та охолодження є загальними операціями.

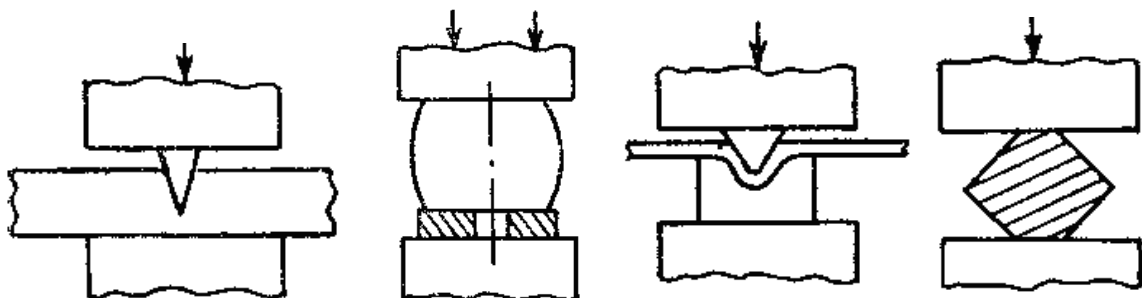


Рисунок 11.3 – Операції вільного кування: відрубубування; осаджування; згинання; обкатування

Обладнанням для машинного вільного кування є штампувальні молоти (пневматичні, пароповітряні, високошвидкісні, вибухові, гідравлічні); преси (гвинтові, гідравлічні, пневматичні, електромагнітні, кривошипні); спеціальні машини (горизонтально-кувальні, вертикально-кувальні, радіально-кувальні, ротаційні, імпульсно-штампувальні).

Переваги: висока якість металу, універсальність устаткування та інструменту, можливість виготовлення заготовок значних розмірів і мас на малопотужному устаткуванні.

Недоліки: порівняно низька продуктивність праці, велика трудомісткість, невисока точність форми та розмірів заготовок, підвищені витрати металу на напуски, вигоряння, збільшені припуски на механічне оброблення, потреба у високій кваліфікації робітників, тяжкі умови праці, труднощі з механізацією та автоматизацією виробничих процесів.

### **11.3 Способи об'ємного гарячого штампування**

У процесі об'ємного штампування відбувається вимушений перерозподіл металу в штампі молота, преса чи машини. Гаряче об'ємне штампування переважно застосовують у серійному та масовому виробництві для виготовлення поковок масою до 100 кг (для важкого машинобудування – 400 кг і більше). Об'ємне штампування ефективно для виготовлення заготовок із малопластичних у холодному стані сталей та сплавів.

За типом використаного устаткування розрізняють штампування на молотах, кривошипно-гарячощтампувальних пресах (КГШП), горизонтально-кувальних машинах (ГКМ), ротаційно-кувальних машинах (РКМ), радіально-кувальних машинах (РДКМ), швидкісних молотах (ШМ), гідравлічних, фрикційних і гвинтових пресах, спеціальних машинах.

Основні технологічні операції штампування поділяють на розділювальні, формозмінювальні та загальні. До *розділювальних операцій* штампування відносять: відрізування, розрізування, пробивання, обрізування та зачищування. До *формозмінювальних* належать: осаджування, висаджування, протягування, вигинання, закручування, прошивання, роздавання, підкатування, витискування, обтискування, карбування та калібрування. *Загальні операції* – це нагрівання, обдування, змащування та охолодження.

Перевагами штампування порівняно з вільним куванням є більша точність форми, розмірів і якість поверхонь заготовок, можливість виготовлення складних за формою заготовок, вищі коефіцієнт використання матеріалу та продуктивність праці, нижчі вимоги до кваліфікації робітників, придатність до механізації та автоматизації виробничих процесів.

Недоліками процесів об'ємного штампування є складність і висока вартість технологічного спорядження, потреба в устаткуванні великої потужності, обмеження маси та габаритів виготовлюваних заготовок, наявність облою, задирок.

Залежно від складності форми та розмірів поковок застосовують однорівчачкове, багаторівчачкове, розділене та комбіноване штампування.

Розділене штампування виконують у різних штампах на однотипних машинах, а комбіноване – на різнотипних машинах.

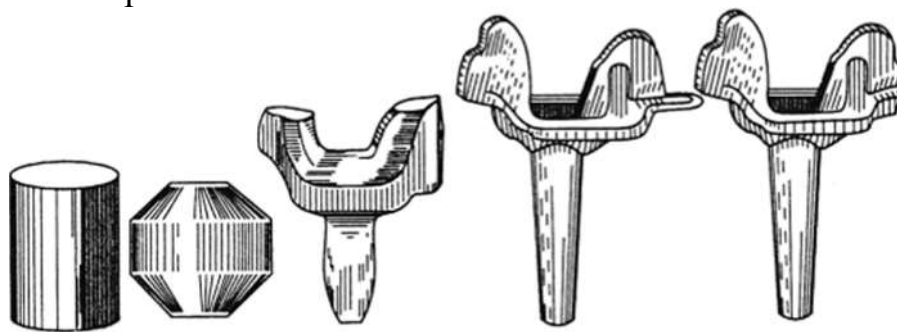


Рисунок 11.4 – Послідовність переходів штампування залежно від кількості рівчаків штампа

За конструкцією використовуваних штампів розрізняють відкрите, закрите та штампування витискуванням. *Відкрите штампування* здійснюють у штампах, у яких передбачений проміжок між обома частинами штампа, що під час деформування металу зменшується.

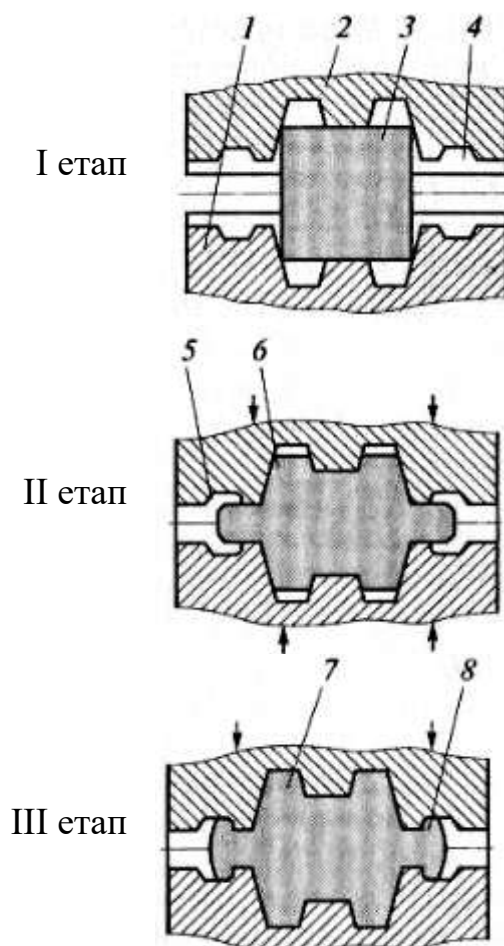


Рисунок 11.5 – Послідовність відкритого штампування:

1, 2 – верхня і нижня частини штампа; 3 – заготовка; 4 – облойна канавка; 5 – облойний накопичувач; 6 – проміжна заготовка; 7 – штамповка; 8 – облой



В остаточному штампувальному рівчаку для витікання зайвого металу передбачають спеціальну облойну канавку навколо порожнини штампа, що створює опір витіканню металу, чим забезпечує сприятливі умови для заповнення остаточного рівчака штампа. Облой залежно від складності форми поковки може становити 10...40% її маси.

*Закрите штампування* виконують у штампах, між частинами яких є тільки такий проміжок, що забезпечує відносний їх рух для деформування металу без можливості його витікання з порожнини штампа та утворення облою. Відсутність облою зменшує розхід металу, дає змогу уникнути операції його відрізування, але вимагає точного дозування маси вихідних заготовок. Закрите штампування придатне для отримання порівняно нескладних за формою поковок проте забезпечує вищу точність розмірів і якість поверхонь кованок.

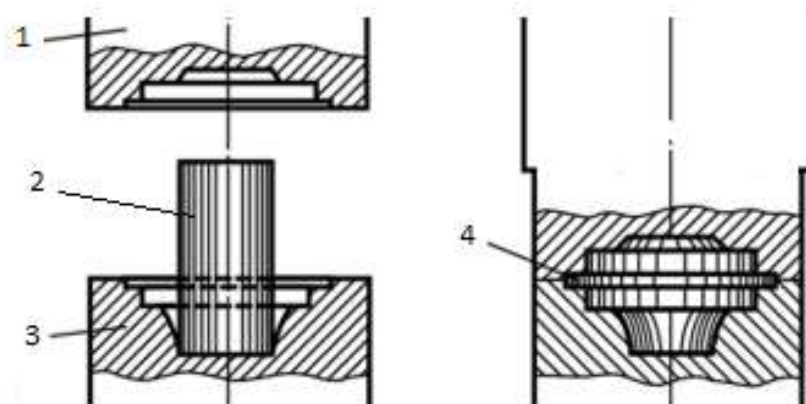


Рисунок 11.6 – Схема закритого штампування:  
1, 3 – верхня і нижня частини штампа; 2 – вихідна заготовка;  
4 – штамповка

Значно ефективніше *штампування витискуванням*, яким отримують високоякісні заготовки з пластичних матеріалів. Недоліком цього способу є порівняно низька стійкість штампів, вищі енерговитрати та потреба в спеціальних мастилах.

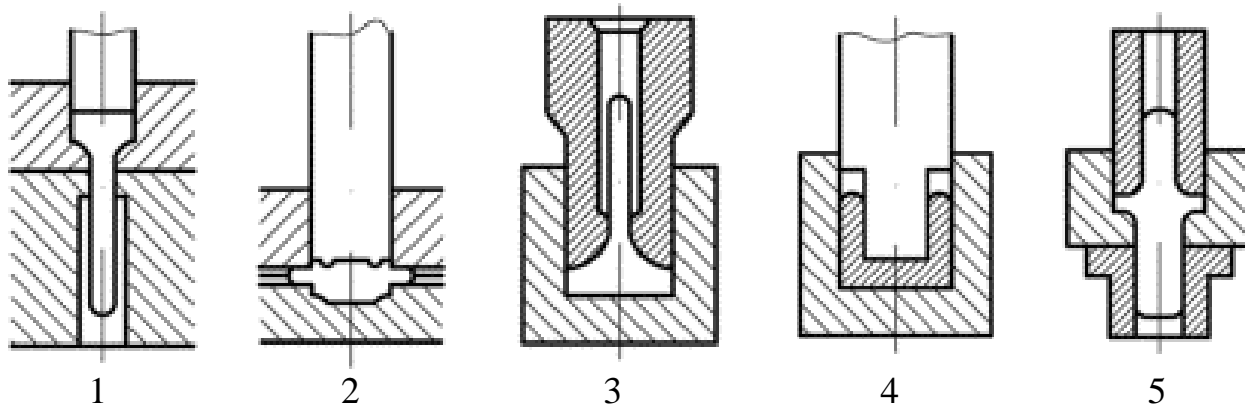


Рисунок 11.7 – Схеми штампування витискуванням:  
1, 2 – пряме; 3, 4 – зворотне; 5 – комбіноване

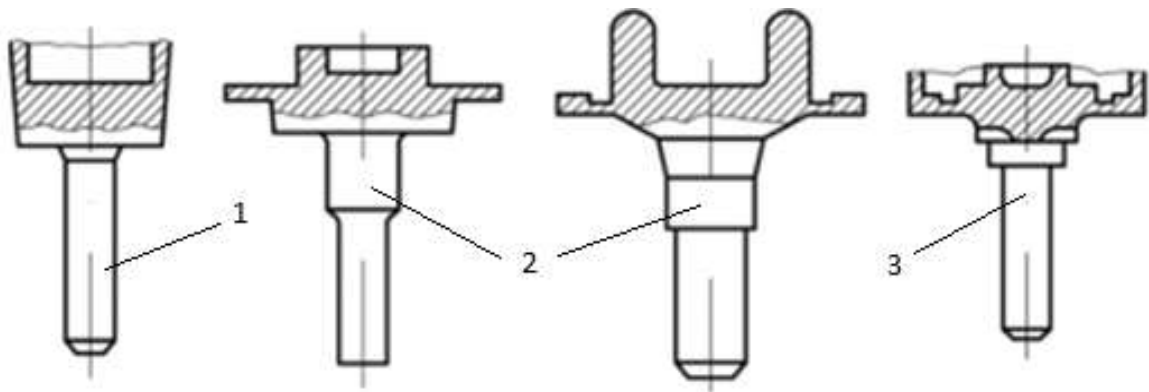


Рисунок 11.8 – Конструкцій заготовок після штампування витискуванням:  
1, 2, 3 – хвостовик (облой)

Досить широко застосовують також підкладні штампи, що не мають жорсткого закріплення на ковальському устаткуванні. На них виготовляють поковки масою до 150 кг нескладної форми, вони можуть бути відкриті чи закриті і вартість їх значно нижча. Основними їх недоліками є порівняно низька якість, більші напуски та припуски на оброблення різанням.

Основні характерні ознаки всіх трьох способів об'ємного штампування.

*Відкрите штампування:*

1) об'єм металу, що міститься в порожнині штампа, більший, ніж об'єм готової заготовки та в процесі штампування частина його витікає через проміжок облойної канавки, що сприяє кращому заповненню порожнини штампа;

2) напрямок витікання металу в облойний проміжок перпендикулярний до напрямку руху половинок штампа в процесі штампування;

3) волокна металу спрямовані від середини поковки до облою та перерізаються під час його відрубання.

*Закрите штампування:*

1) об'єм металу у порожнині штампа в процесі штампування не змінюється;

2) задирки, що утворюються від витікання металу в проміжки між частинами штампа, незначні, а напрямок витікання металу в задирки паралельний до напрямку руху половинок штампа;

3) волокна металу поковки не перерізаються.

*Штампування витискуванням:*

1) об'єм металу в порожнині штампа в процесі штампування зменшується за рахунок його витіснення через передбачені отвори та проміжки для утворення необхідних частин заготовки;

2) зайвий метал зазвичай витісняється в зовнішню частину заготовки, а згодом відрізається;

3) поковки відрізняються високою якістю металу, що забезпечується за рахунок всебічного його стискування.

#### 11.4 Штампування на молотах та пресах

Технологічні схеми штампування на молотах і пресах аналогічні способам об'ємного гарячого штампування. Відмінністю є лише типи приводу машин, які і визначають особливості того чи іншого способу обробки тиском.

*Штампування на молотах* виконують за допомогою підкладних і стаціонарно закріплених до бойків молота штампів за 3...5 ударів. Як технологічне обладнання використовують наступні види молотів: пневматичні, пароповітряні, фрикційні, гвинтові, гідравлічні. Маса падаючих частин штампувальних молотів у 500-1000 разів більша від маси заготовки та визначається залежно від потрібної потужності на виконання роботи деформування металу поковки.

Штампування на молотах дозволяє регулювати енергію ударів та їх частоту, деформувати заготовки в кожному окремому рівчаку за один чи декілька ударів та забезпечує хороші умови заповнення порожнини рівчаків штампів, що пояснюється великою швидкістю деформування металу.

Недоліками штампування на молотах є малий коефіцієнт корисної дії, низька продуктивність праці, складність механізації та автоматизації виготовлення заготовок, швидке зношування штампів, недопустимість використання складаних штампів, підвищені витрати металу порівняно з іншими способами штампування, невисока точність форми та розмірів поковок, труднощі з використанням закритих штампів і штампів для висаджування. Крім цього штампувальні молоти потребують громіздких фундаментів для монтажу, наявності котельних чи компресорних станцій, створюють сильний шум у процесі їх роботи.

Штампування на молотах малих і середніх поковок часто не економічно недоцільно, тому їх виготовляють по дві, три та більше в одному штампі. На молотах здійснюють штампування поковок з прутка з одночасним їх відрізуванням.

Для фасонування поковок застосовують багаторівчаківі штампи та більш раціональним є виконання на молотах переходів фасонування заготовок, попередньо отриманих іншими способами (вальцюванням, прокатуванням, вільним куванням). Кількість і послідовність переходів штампування на молотах в основному визначається складністю форми поковки.

*Штампування на пресах* характеризується жорстким зв'язком між приводом та повзуном і як наслідок – великі зусилля штампування від незначного крутного моменту приводу. Штампування на КГШП виконують за один хід у кожному рівчаку. Промислові КГШП мають 35-95 робочих ходів за хвилину, робочі зусилля від 6,3 до 100 МН і потужність від 20 до 500 кВт.

На КГШП виконують такі операції штампування як: осаджування, перетискування, вигинання, попереднє та остаточне штампування, витискування, калібрування, відрубубування. Використання виштовхувачів в обох частинах штампів дозволяє зменшити штампувальні нахили, припуски на оброблення різанням.

Також як переваги варто вказати високі точність форми та розмірів поковок, коефіцієнт використання матеріалу, продуктивність праці, коефіцієнт

корисної дії, малу вартість заготовок, можливість використання складаних (універсальних) штампів замість суцільних, кращі умови праці, менші навантаження на виробничі будівлі, придатність до механізації та автоматизації.

Недоліками є висока вартість пресів, менша, ніж у молотів, швидкість деформування металу, що погіршує умови заповнювання порожнини штампа, небезпека заклинювання та ламання преса у нижній позиції штампа (у разі переохолодження металу заготовки), необхідність у регулярному очищенні проміжних заготовок, менша універсальність, складніша конструкція, потреба точного регулювання, неможливість штампування однієї поковки за кілька робочих ходів.

За характером роботи *гвинтові фрикційні преси* займають проміжне місце між штампувальними молотами та КГШП. Швидкість руху повзуна гвинтового преса 1...3 м/с. Це в 4-6 раз менше, ніж швидкість молота, але більше ніж швидкість повзуна КГШП.

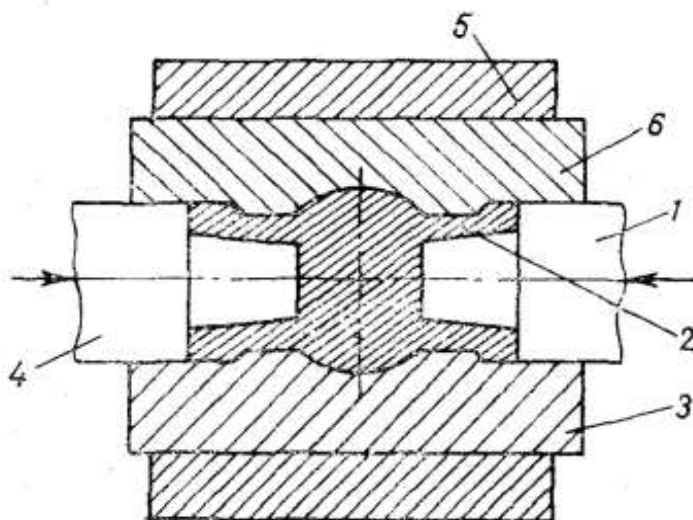


Рисунок 11.9 – Штампування поковок прошиванням у рознімній матриці: 1, 4 – пуансони; 2 – поковка; 3, 6 – частини рознімної матриці; 5 – обойма

До переваг фрикційних гвинтових пресів відносять можливість деформування металу у кожному рівняку штампа кількома ударами.

До недоліків гвинтових пресів належать їх порівняно низька продуктивність, тому вони здебільшого застосовуються у дрібносерійному виробництві для виготовлення малих і середніх заготовок.

*Гідравлічний прес* характеризується безударним режимом роботи. Гідравлічний штампувальний прес є дорогим тихохідним обладнанням, відносно малопродуктивним, але є незамінним при обробці габаритних (площиною проекції до 2,5 м<sup>2</sup>) поковок масою більше 350 кг, заготовок з мало пластичних матеріалів, які не допускають високих швидкостей деформації (титанові і жароміцні сталі та сплави).

Технологічний процес аналогічний попереднім процесам штампування, різниця полягає лише у обладнанні, яке і забезпечує такі переваги як тихохідність, необмежена довжина робочого ходу, значна потужність (зусилля

до 750 МН). Даним способом виконують операції витискування, відкрите та закрите штампування, прошивання, протягування, багаторівчачкове штампування.

Для підвищення стійкості штампів преси обладнують водяним охолодженням, змащують робочі поверхні пуансонів і матриць, а масивні деталі штампів роблять порожнистими. Поковки, що виготовляються на гідравлічних пресах, поділяють на чотири групи: перш – гільзи та стакани, друга – диски та фланці, третя – хрестовини, четверта – панелі і плоскі заготовки.

Недоліки: порівняно низька стійкість штампів, зумовлена довготривалим контактом з гарячим металом, висока вартість обладнання.

## 12 ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК НА СПЕЦІАЛЬНИХ МАШИНАХ

### 12.1 Виробництво заготовок на горизонтально-кувальних машинах

ГКМ являють собою горизонтальні кривошипні гаряче штампувальні преси із зусиллям штампування 6...125 МН. Найбільший діаметр оброблюваних прутків – до 270 мм, робочий хід повзуна – 200...700 мм, кількість робочих ходів за хвилину – 20...95. За допомогою ГКМ виконують штампування відкрите, закрите та штампування витискуванням, перетискання заготовок, сплющування, вигинання, відрізування. Типовим ТП штампування на ГКМ є багаторівчачкове висаджування у закритих штампах з прутка. На ГКМ також штампують окремі заготовки способом «в торець».

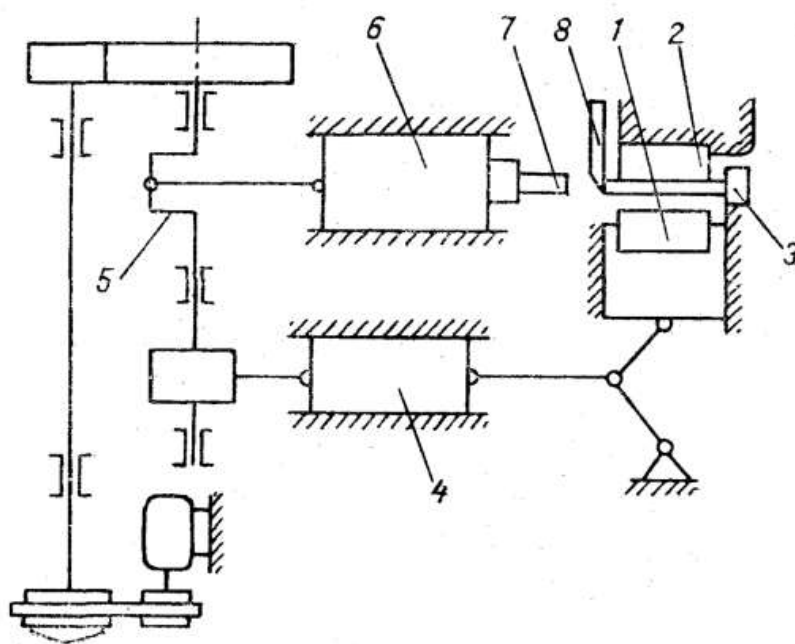


Рисунок 12.1 – Функціональна схема ГКМ:

1, 2 – рознімна матриця; 3 – поковка; 4, 6 – повзуни; 5 – привід руху повзунів; 7 – пуансон; 8 – упор

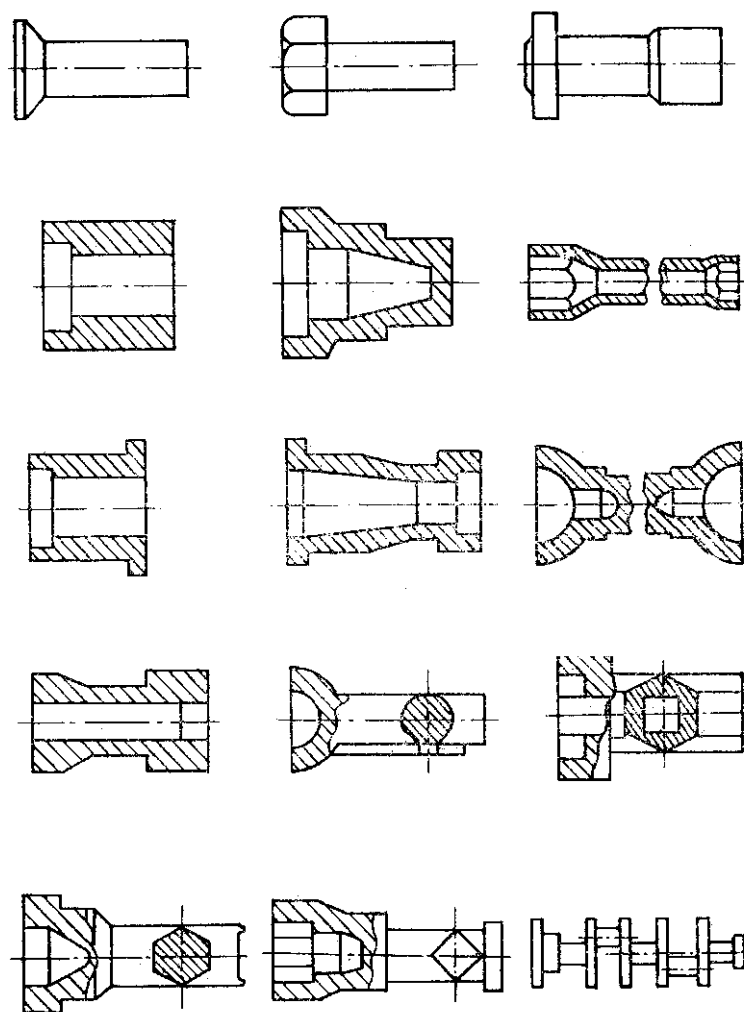


Рисунок 12.2 – Типові конструкції заготовок які отримують на ГKM

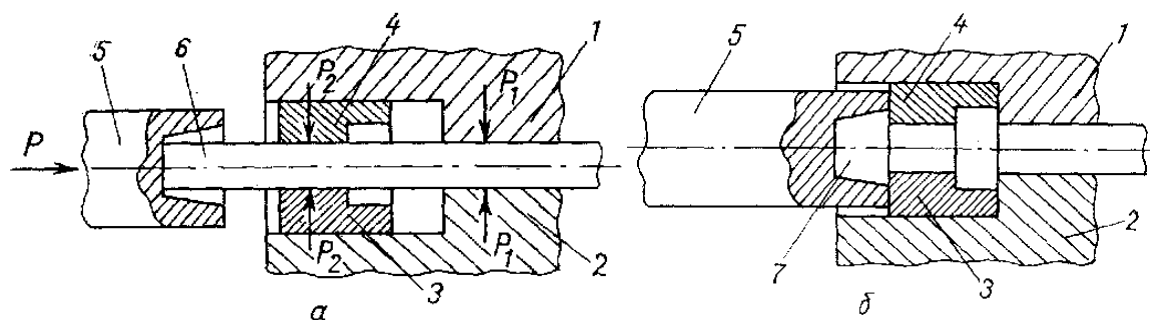


Рисунок 12.3 – Схема висаджування на ГKM на початковій (а) та кінцевій (б) стадіях: 1, 2 – частини рознімної матриці; 3, 4 – частини додаткової рознімної матриці; 5 – пуансон; 6 – вихідна заготовка; 7 – поковка

Цей спосіб має такі переваги як висока продуктивність, можливість виготовлення складних заготовок, висока придатність до механізації та автоматизації. Недоліками обробки на ГKM можна вважати обмежену номенклатуру форм заготовок (тіла обертання), обмежена маса заготовок (до 150 кг) та потреба у використанні як вихідних заготовок точного прокату, підвищені витрати матеріалу за рахунок хвостовиків для закріплення заготовок у матриці.

## 12.2 Кування на ротаційно-кувальних і радіально-кувальних машинах

Суть процесу штампування на РКМ і РДКМ полягає в тому, що заготовка обтискається між парою бойків, що рухаються назустріч один одному.

Під час виробничого процесу на РКМ осесиметричні кованки з видовженою віссю обтискають у радіальному та витягують у повздовжньому напрямках для отримання суцільних і порожнистих заготовок типу стержнів. РКМ бувають горизонтальні і вертикальні. Ударні навантаження створюються барабаном з роликми, який має обертовий рух відносно поздовжньої осі заготовки. Частота обертів барабана 3...7 об/с., кількість ударів залежить від кількості роликів і може складати від декількох десятків до сотень ударів за оберт. Виготовляють таким способом прості і складні профільовані поздовжні заготовки діаметром 0,3...320 мм.

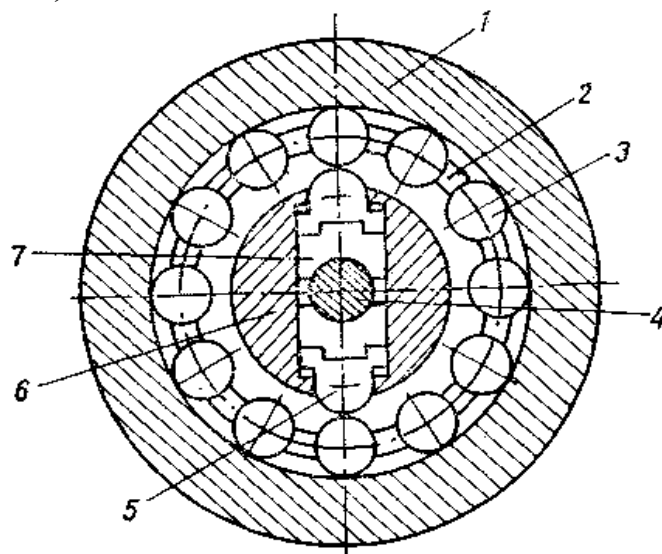


Рисунок 12.4 – Схема обробки на РКМ:

1 – барабан; 2 – обойма; 3 – ролик; 4 – заготовка; 5 – бойок; 6 – шпиндель;  
7 – матриця

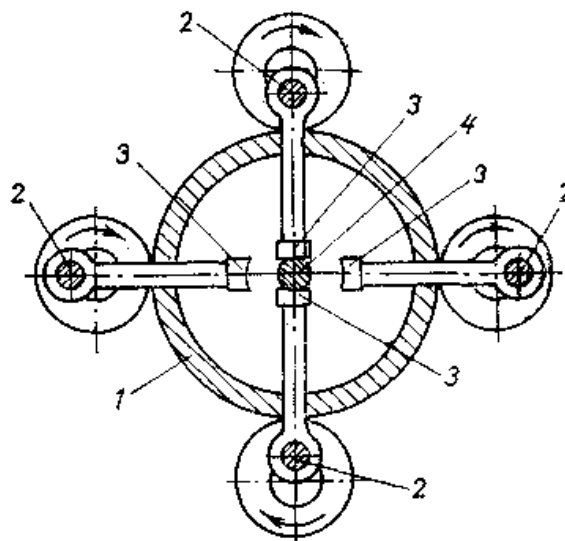


Рисунок 12.5 – Схема обробки на РДКМ:

1 – корпус; 2 – ексцентрикові вали; 3 – бойки; 4 – заготовка

РДКМ відрізняються від РКМ тим, що кувальні бойки приводяться в рух за допомогою кривошипно-шатунних, ексцентрикових чи кулачкових механізмів. Зусилля на кожній парі бойків 0,6...1,6 МН. Частота 7...10 ударів на секунду.

Продуктивність РКМ і РДКМ нижча від ГКМ і КГШП, тому їх часто використовують у дрібносерійному виробництві. Дані способи підлягають механізації та автоматизації.

### 12.3 Штампування на швидкісних молотах

Дане обладнання є компактним, вони займають менші виробничі площі, не вимагають глибоких і складних фундаментів, бувають вертикальними та горизонтальними. Швидкість переміщення рухомих частин швидкісних молотів у 10...40 разів вища від звичайних молотів і становить 20...30 м/с. Енергоносіями є гази та рідини високого тиску. Штampi перед початком роботи підігрівають до температури 150...250°C в електричних або газових печах з безкисневим нагріванням.

Переваги: можливість штампування поковок з нижчою температурою нагрівання, виготовлення заготовок складної форми, тонкостінних, з малими радіусами заокруглень, з меншими штампувальними нахилами, з точними розмірами, високою якістю поверхонь, висока продуктивність і придатність до автоматизації виробничих процесів. Недоліки: невисока стійкість штампів.

### 12.4 Ротаційне витягування

Ротаційне витягування полягає у формозмінюванні плоских чи порожнистих обертових заготовок за допомогою оправки та рухомого навантаження, наприклад витягувального ролика.

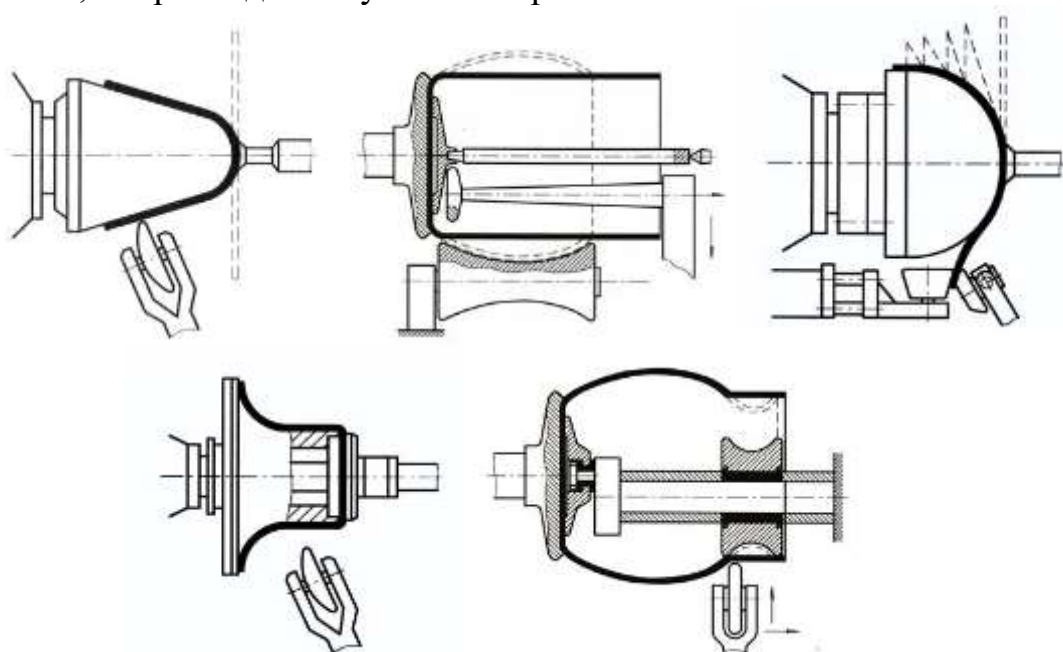


Рисунок 12.6 – Схеми ротаційного витягування і розкатування



Ротаційним витягуванням виготовляють порожнисті заготовки зі сталюю та змінною товщиною стінки, різні за формою та розмірами. Діаметр і довжина заготовок можуть становити до 5 м, а товщина стінки – до 40 мм. Ротаційне витягування застосовують як для оброблення пластичних матеріалів, так і для важкодеформівних, тугоплавких металів та сплавів в одиничному і дрібносерійному виробництві. Основним устаткуванням служать токарні чи спеціальні витискувальні верстати.



Рисунок 12.7 – Загальний вигляд установок для ротаційного витягування і розкатування

### **12.5 Холодне прокатування трубчастих заготовок**

Гаряче прокатування труб не завжди може задовольнити вимоги до точності розмірів та якості поверхонь заготовок. Крім цього, гарячим прокатуванням не вдається отримати заготовки малих діаметрів. Для цього застосовують холодне прокатування, яке забезпечує ще й деякі специфічні

фізичні властивості, наприклад, магнітні. Вихідними заготовками для холодного прокатування служать безшовні гарячекатані та зварювані трубчасті заготовки. Цим способом виготовляють трубки з мінімальним діаметром до 1 мм з товщиною стінки 0,1 мм і менше.

Прокатування виконують на валкових і роликівих станах. Процес холодного прокатування трубчастих заготовок аналогічний процесу гарячого прокатування. Різниця полягає в тому, що холодне прокатування придатне для оброблення нерухомої заготовки. В заготовку вставляють оправку, а робочий рух надають кліті прокатного стану. У процесі прокатування за кожний цикл заготовку разом з оправкою після закінчення робочого ходу кліті подають вперед на один крок і одночасно повертають на  $60^\circ$  довкола її осі. Це дає змогу на станах холодного прокатування виготовляти східчасті заготовки змінного перетину.

Холодне прокатування трубчастих заготовок виконують і на редуційних роликівих станах, на яких зменшення товщини стінки відбувається одночасно з незначним зменшенням її діаметра. Таким способом виготовляють трубки з дуже тонкими стінками.

Тонкостінні трубчасті заготовки великого діаметра отримують за допомогою холодного поперечного прокатування на циліндричній чи конічній оправці спеціальними валками. У процесі прокатування зменшується товщина стінки заготовки та відповідно збільшується її довжина (у разі використання циліндричної оправки) чи діаметр (при використанні конічної оправки).

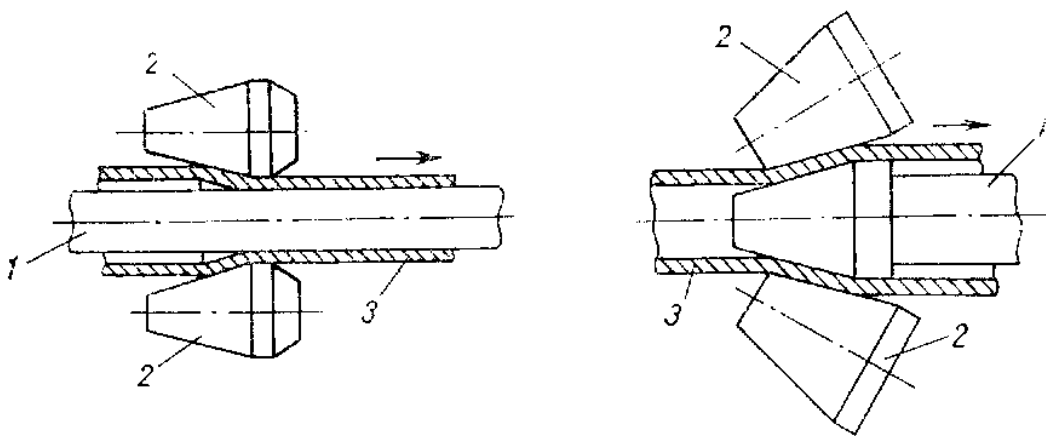


Рисунок 12.8 – Схеми поперечного прокатування трубчастих заготовок на циліндричній та конічній оправках:  
1 – оправка; 2 – обтискні валки; 3 – заготовка

### 12.6 Заготовки отримані волочінням

Процес волочіння полягає у протягуванні матеріалу заготовок через отвір заданої форми та розмірів волока чи матриці (матеріал якої сталь, алмаз). Основним устаткуванням є волочильні стани періодичної дії з барабаними магазинами та агрегатами для термічної обробки.

Оскільки в результаті волочіння метал наклепується, то після кожного переходу волочіння заготовка потребує термічного оброблення (відпалювання).

Під час волочіння в металі виникають розтягувальні напруження вздовж осі заготовки. Щоб не деформувалась заготовка після проходження через волок, ці напруження не повинні бути більшими, ніж межа текучості матеріалу заготовки. Це обмежує ступінь деформування заготовки в одному технологічному переході, що становить 10...35%. З цієї причини волочіння переважно проводять у холодному стані, в якому межа текучості матеріалу значно вища, ніж у нагрітому.

У результаті волочіння отримують дрід діаметром 0,002...10 мм, прутки різних перетинів з поперечним розміром 3...150 мм і труби діаметром 0,6...500 мм з товщиною стінки 0,1...10 мм. Волочінням виготовляють також пруткові заготовки для зубчастих і храпових коліс, зірочок, шпонок.

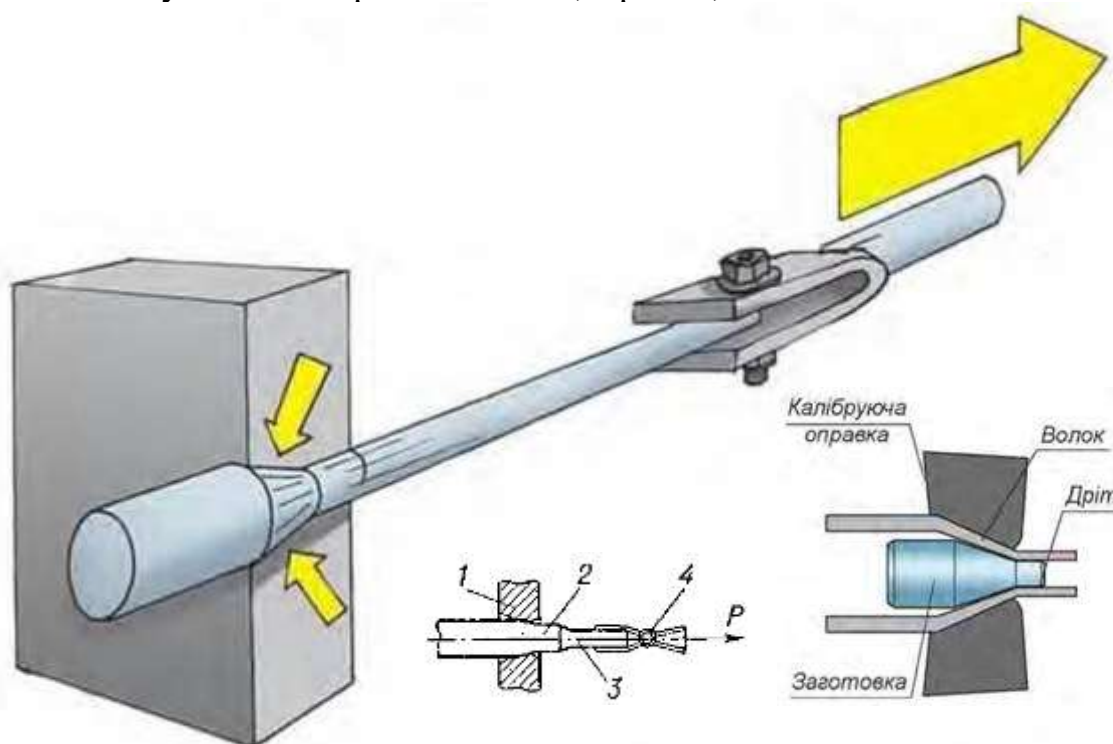


Рисунок 12.9 – Схема волочіння:

1 – волока (фільтра); 2 – заготовка; 3 – загострений кінець заготовки;  
4 – захват

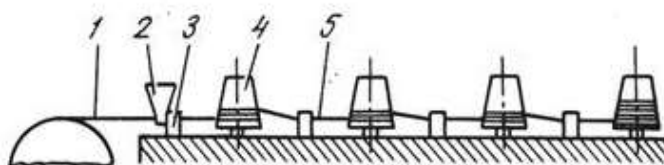


Рисунок 12.10 – Принципова схема 4-х барабанного волочильного стану:

1 – сталева стрічка; 2 – бункер для шихти; 3 – фільтротримач;  
4 – намотувальний барабан; 5 – порошковий дрід

Профілі, утворені волочінням, можуть бути простими та фасонними. Волочіння труб здійснюють з одночасним потоншенням їх стінок. Точність

розмірів заготовок, отриманих волочінням, 6-8 квалітет, а шорсткість поверхонь до  $Ra = 0,16$  мкм.

Переваги: висока продуктивність, точність форми та розмірів заготовок, висока якість поверхні, міцність, твердість і зносостійкість матеріалу заготовок, можливість виготовлення дроту малих діаметрів і тонкостінних труб.

## 13 ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК ОБ'ЄМНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

### 13.1 Холодне об'ємне штампування

Холодним називають штампування, яке виконують без нагрівання заготовки. За своєю суттю процеси холодного об'ємного штампування подібні до процесів гарячого об'ємного штампування, а витискування аналогічне гарячому пресуванню і відрізняються тільки тим, що заготовкою є штучна вихідна заготівка отримана прокатуванням, волочінням, а не литтям. Ці способи виготовлення заготовок розповсюджені завдяки таким перевагам: висока точність форми і розмірів (до 0,05 мм, якість поверхні  $Ra \leq 0,1$  мкм); низька трудомісткість; висока продуктивність процесу (800 шт./хв., 30-90 тис. деталей за зміну); придатність до механізації і автоматизації виробничих процесів; високий коефіцієнт використання матеріалу (до 95%); відсутність нагрівальних операцій; малий об'єм механічної обробки; можливість використання низько кваліфікованих робітників.

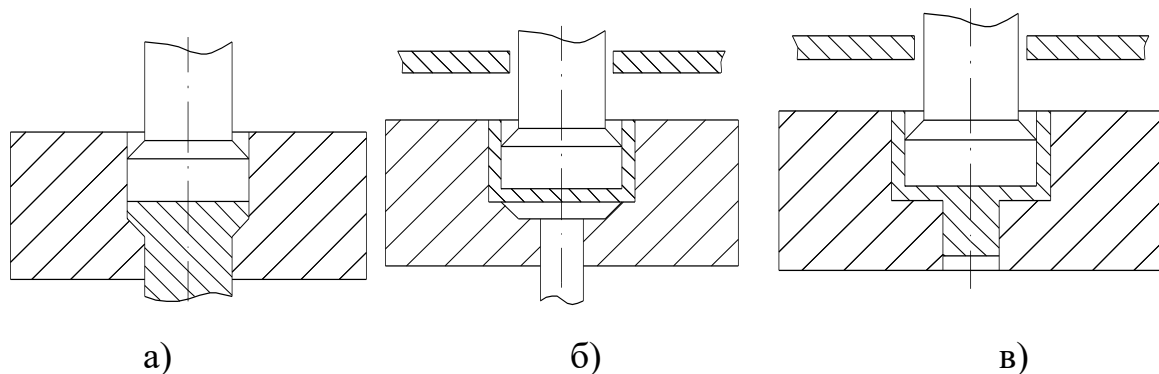


Рисунок 13.1 – Способи витискування (висаджування):  
а) пряме; б) обернене; в) комбіноване

Таким способом виготовляють стакани, болти, клапани, поршневі пальці, прості корпуси, екрани, цоклі і оболонки нагрівальних приладів з чорних металів і їх сплавів.

При холодному висаджуванні як вихідну заготовку використовують прокат, з якого виготовляють гвинти, болти, шурупи, цвяхи, спиці. Холодно-висаджувальні автомати – це одне з найпродуктивніших обладнань заготівельного виробництва.

Процес висаджування, як правило, виконується з 1 – 5 переходів (ударів) залежно від складності форми та розмірів заготовки. За вихідні заготовки як правило приймають пруток, дріт, смугу, лист, трубу, періодичний прокат, а також зварювані заготівки з прокату. Припустимий ступінь деформування для сталей 60%, кольорових металів 80%.

Зворотне витягування (з вивертанням) – об'єднання двох або більше операцій витягування за один робочий хід. При цьому кожне наступне витягування здійснюється в напрямку, зворотному попередньому. Використовується з метою зменшення числа операцій.

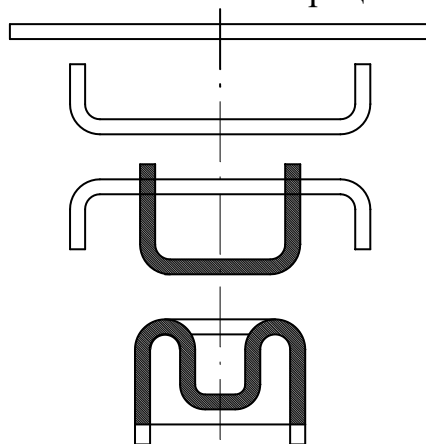


Рисунок 13.2 – Схема зворотного витягування

Витягування гумою або поліуретаном виконується подушкою із відповідного матеріалу в жорсткій матриці. Використовується для виготовлення пустотілих заготовок із тонколистового матеріалу. Штампи прості, тому, що виготовляється тільки один деформуючий елемент, інший замінюється гумою або поліуретаном. Застосовується в основному в умовах малосерійного і одиничного виробництва.

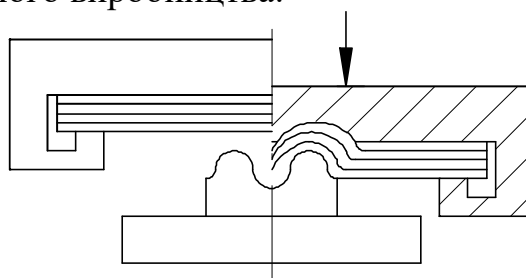


Рисунок 13.3 – Схема витягування гумою або поліуретаном

Гідравлічне витягування (випучування) для пустотілих деталей циліндричної, корпусної, сферичної або іншої форми здійснюється тиском на заготовку безпосередньо рідиною або рідиною, яка міститься у спеціальній оболонці. Спосіб ефективний для виготовлення заготовок складної форми. Недоліком є ймовірність значного потоншення металу в окремих зонах.



Рисунок 13.4 – Схема гідравлічного витягування

Розбортовування (розвальцювання) полягає в утворенні борта у заготовці з попередньо пробитим отвором. Виготовляють заклепки, фланці, луки в днищах котлів.

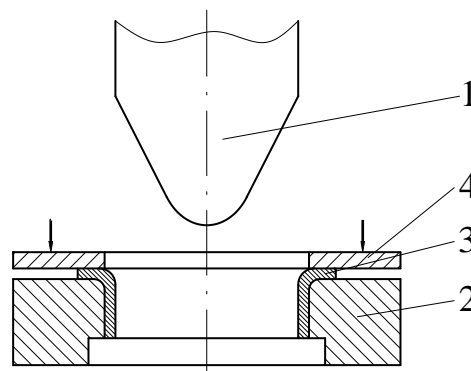


Рисунок 13.5 – Схема розбортовування (розвальцювання):  
1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – прихват

Карбування застосовується для доведення площин плоских заготовок до потрібного розміру або для утворення на поверхні рельєфних зображень, написів. Обидва пуансони, поверхні яких містять відповідне дзеркальне відображення необхідного напису чи рисунку, обтискують заготовку (карбують).

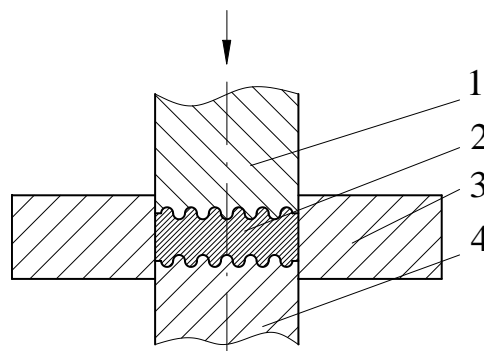


Рисунок 13.6 – Схема карбування:  
1, 4 – відповідно верхній і нижній пуансони; 2 – заготовка; 3 – фіксуюче кільце або рамка

### 13.2 Розкатування кільцевих заготовок

Вихідними заготовками для розкатування можуть бути поковки, що виготовлені на молотах, КГШП, ГKM та інших пресах. Процес розкатування кільцевих заготовок на розкатувальних машинах широко застосовується для виготовлення поковок, що мають форму порожнистих тіл обертання невеликої ширини порівняно з діаметром. Розкатуванням отримують заготовки різних перетинів, зовнішнім діаметром до 7000 мм і шириною до 1200 мм. В процесі притискання розкатувального та притискного валків заготовка тоншає та відповідно збільшується в діаметрі.

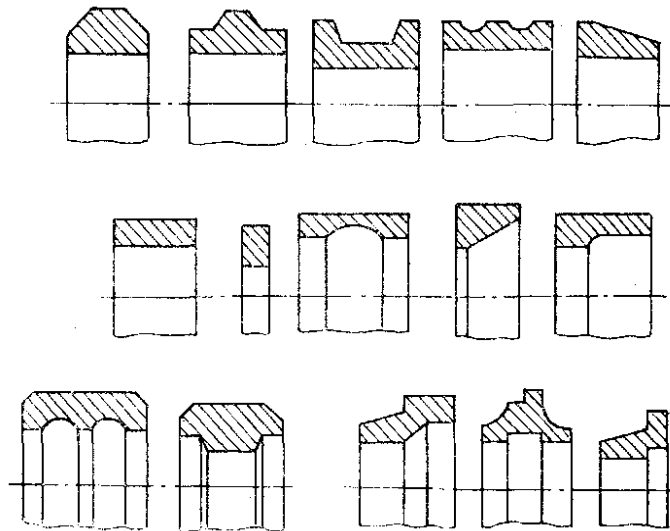


Рисунок 13.7 – Форми січень кільцевих заготовок виготовлених розкатуванням

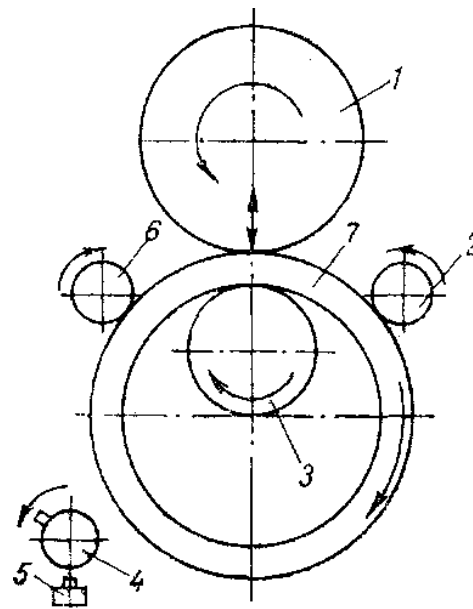


Рисунок 13.8 – Схема розкатування кільцевих заготовок:  
1 – розкатувальний валок; 2, 6 – напрямні ролики; 3 – притискний валок;  
4 – контрольний ролик; 5 – кінцевий вимикач; 7 – заготовка

Форма та розміри перетину заготовки залежать від профілю обертового та притисного валків, а також напрямних роликів. За схемами формоутворення застосовують закрите, відкрите та напівзакрите розкатування. Більш поширеним є відкрите розкатування. Закрите розкатування застосовують здебільшого для виготовлення заготовок невеликих розмірів і мас. Закритим розкатуванням формують кованки діаметром до 150 мм і масою до 1 кг. Продуктивність розкатувальних машин 75...500 кованок за годину.

Діаметр зовнішньої поверхні визначають, виходячи з рівності об'ємів кованки та вихідної заготовки з урахуванням вигорання металу.

Перевагами ТП розкатування кованок є висока точність їх форми та розмірів, якість поверхонь і добрі механічні властивості поверхневих шарів, малі зусилля деформування, придатність до механізації та автоматизації виробничих процесів, особливо для застосування у гнучких виробничих системах.

Унікаючи утворення циндри, сталеві кованки розкатують після нагрівання в індукційних та безкисневих печах при температурі, що не перевищує 1050°C. Шорсткість поверхонь після розкатування 0,8...2,5 мкм за параметром Ra.

### 13.3 Накатування спеціальних поверхонь

ТП накатування застосовують для виготовлення зубчастих коліс, шліцевих валів, деталей з різьми. Накатування здійснюють як кінцеву операцію виготовлення деталей невисокої точності та як заготівельну операцію перед чистовим обробленням. Накатування дає змогу зміцнювати поверхневі шари, економити матеріали, знижувати трудомісткість виготовлення та вартість кованок, підвищувати продуктивність праці.

Нагрівання заготовок для накатування проводять тільки місцеве, тому для цього здебільшого застосовують устаткування зі струмами високої частоти. Процес накатування відбувається за допомогою накатувальних валків циліндричної форми та плоских інструментів. Останні здебільшого застосовують для накатування порівняно дрібних профілів.

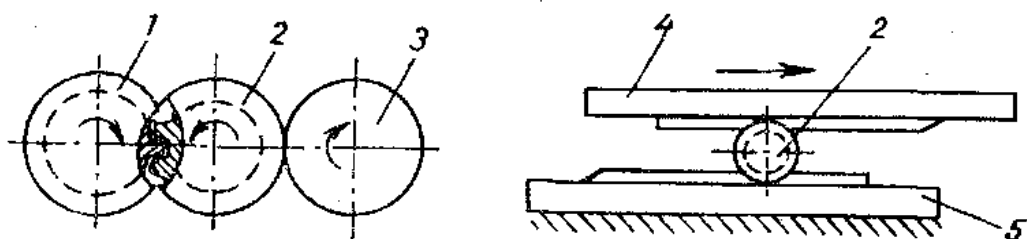


Рисунок 13.9 – Схеми накатування спеціальних поверхонь циліндричним і плоским інструментами:

- 1 – циліндричний інструмент; 2 – заготовка; 3 – опорний валок;
- 4, 5 – рухомий та нерухомий плоскі інструменти



Накатування поверхонь вихідних заготовок виконують як у гарячому, так і в холодному стані. Холодне накатування економічніше, після нього зазвичай немає потреби оброблення різанням, термічного та хімічного оброблення. Накатані поверхні більш міцні, зносостійкі.

Накатувальні стани здійснюють накатування поверхонь зубчастих коліс, зірок і шліцевих валів з модулями до 15 мм і діаметром до 1000 мм для гарячого та з модулем до 3 мм і діаметром до 6000 мм для холодного накатування.

### 13.4 Заготовки отримувані на електровисаджувальних машинах

На ЕВМ виготовлення заготовок відбувається при контактному електричному нагріванні вихідної заготовки (сортовий прокат). Застосовують дві схеми висаджування: вільне (гвинти, заклепки, цвяхи, пальці) та закрите в матрицю (кованки з потовщеннями в будь-якому місці – східчасті осі, тяги, шкворні, важелі). Потужність ЕВМ – до 800 кВт, найбільший діаметр суцільної заготовки – 75 мм, порожнистої – 150 мм, продуктивність – до 750 кг/год., зусилля штампування – до 15 МН. ЕВМ є вертикальними та горизонтальними, обладнані автоматичними системами керування.

Недолік обробки електровисаджуванням: обмежена номенклатура заготовок.

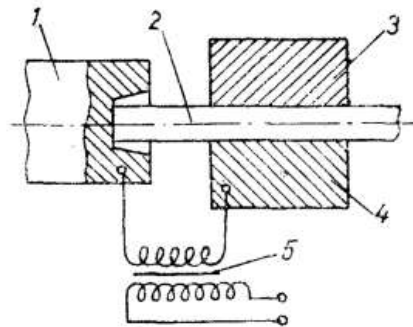


Рисунок 13.10 – Схема електровисаджування:

- 1 – пуансон; 2 – вихідна заготовка; 3, 4 – частини рознімної матриці;  
5 – перетворювач електроенергії

### 13.5 Технологічні процеси витискування, прошивання і пресування

Від пресування відрізняється тим, що за пресування залишок металу у матриці належить до відходів виробництва, а для штампування витискуванням – це складова частина заготовки. Для штампування застосовують вертикальні гвинтові, кривошипно-шатунні та гідравлічні преси, а для пресування – горизонтальні та гідравлічні.

Виготовляють даним способом: цапфи, маточини, фланці, стакани, пальці, корпуси вентилів і кранів. Прошивання подібне до зворотного пресування та виконується двома способами:

- 1) діаметр вихідної заготовки дорівнює діаметру порожнини матриці – забезпечує точне центрування пуансона (рівну товщину стінок);

2) діаметр вихідної заготовки менший за діаметр матриці – вимагає значно менших зусиль на деформування поковки, але поступається точністю центрування та товщини стінок.

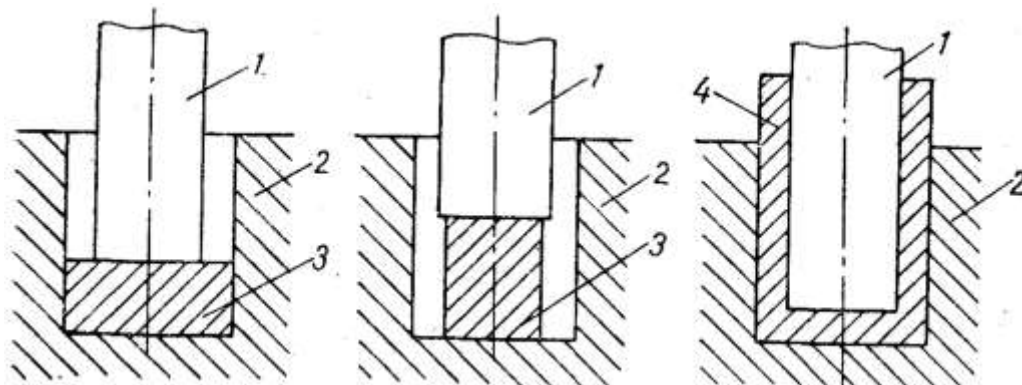


Рисунок 13.11 – Схеми штампування поковок прошиванням:  
1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – вихідна заготовка; 4 – поковка

Виготовляють: поковки різних перетинів розмірами 5...250 мм, труби діаметром 10...400 мм з товщиною стінки 1,5..12 мм, дрiт, кутники, швелери та інші тонкостінні профілі складної форми. Точність розмірів до 6 квалітету та точніше, якість поверхонь до Ra 0,16 мкм.

### 13.6 Штампування у рознімних матрицях

Суть процесу полягає у тому, що матрицю роблять складаною, вона має одну чи більше площин рознімання. Процес проводять на універсальному устаткуванні, у штампах з рознімними матрицями або на спеціальних багатоплунжерних пресах. Штампування у рознімних матрицях виконують у гарячому, напівгарячому та холодному стані матеріалу (корпуси кранів для гідро-та пневмосистем, складних за формою деталей, що мають фланці, ребра, потовщення, виступи, отвори та западини).

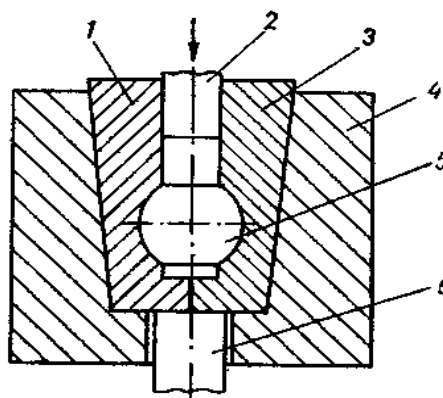


Рисунок 13.12 – Штампування у рознімних матрицях:  
1, 3 – частини рознімної матриці; 2 – пуансон; 4 – обойма; 5 – заготовка;  
6 – виштовхувач

Переваги: відсутність задирок, можливість виготовлення поковок без штампувальних нахилів, з потовщеннями стінок у різних місцях, менші припуски на обробку різанням, придатність до механізації та автоматизації і створення гнучких автоматизованих систем.

Недоліки: вища вартість технологічного спорядження та устаткування, більша кількість штампувальних переходів, менша стійкість штампів, підвищені вимоги до кваліфікації робітників.

## **14 СПЕЦІАЛЬНІ МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ТИСКОМ**

### **14.1 Штампування вибухом**

Суть процесу – це обробка листового матеріалу вибухом в рідині або повітряному середовищі. Вибухове штампування базується на деформації листового матеріалу тиском ударної хвилі, що утворилася під час вибуху бризантних (керованих) вибухових речовин (амоніт, тротил з електродетонатором). Час детонації 20-30 мкс, швидкість детонації 5700-6900 м/с, температура 3900-5400°C, максимальний тиск до 3000 МН, час деформації матеріалу 20-30 мкс.

Рідина пом'якшує тиск на оброблюваний матеріал, забезпечує рівномірний тиск по всій площі заготовки. Наприклад вода розподіляє тиск краще ніж повітря, але гірше ніж гліцерин. Сипуче середовище (пісок) забезпечує найбільш рівномірну деформацію.

Форма вибухової хвилі визначається формою заряду. Сферичний заряд створює ударну хвилю сферичної форми, циліндричний (у вигляді стержня або шнура) – хвилю циліндричної форми, плоский – плоску хвилю.

З погляду найбільш раціонального використання енергії вибуху вигідніше розташовувати заряд ближче до заготовки. Але близьке розташування заряду викликає потоншення та руйнування заготовки. Тому тільки при правильно вибраній відстані від заряду до заготовки можна забезпечити повне деформування заготовки та правильну форму майбутньої деталі. Сферичний заряд слід розташовувати від заготовки на відстані 0,8...2 її діаметра (залежно від потужності заряду). Плоский або кільцевий заряд можна розташовувати ближче, на відстані 0,5...0,6 діаметра деталі, що штампується.

Для виготовлення деталей з мінімальними відхиленнями від робочої поверхні матриці як завершальну операцію застосовують калібрування.

Штампування вибухом проводять відкритим або напівзакритим методом на полігонах у штучних водоймищах, що виконуються у вигляді стаціонарних циліндричних або пірамідальних басейнів та басейнів разового використання. Установка складається з бетонного басейну фанерованого сталевими плитами для запобігання розкришування бетону. Внутрішній діаметр басейну повинен бути не менше ніж 1,5 максимального розміру штамп. Між облицюванням і бетонною основою міститься антисейсмічна прокладка з дерева або піску. На

матрицю встановлюється заготовка і закріплюється. Для відсмоктування повітря з простору між заготовкою і стінками матриці на установці передбачений вакуум-насос. Для заповнення водою перед вибухом та видалення води після штампування басейн обладнаний насосною установкою. Висота стовпа води при заповненні басейну повинна бути в 1,5...2 рази більша за відстань від заряду до заготовки. Від висоти стовпа рідини над зарядом залежить викид води з криниці – чим більший стовп рідини, тим менший її викид. Додатково для зменшення викиду води у басейн опускають набір металевих сіток.

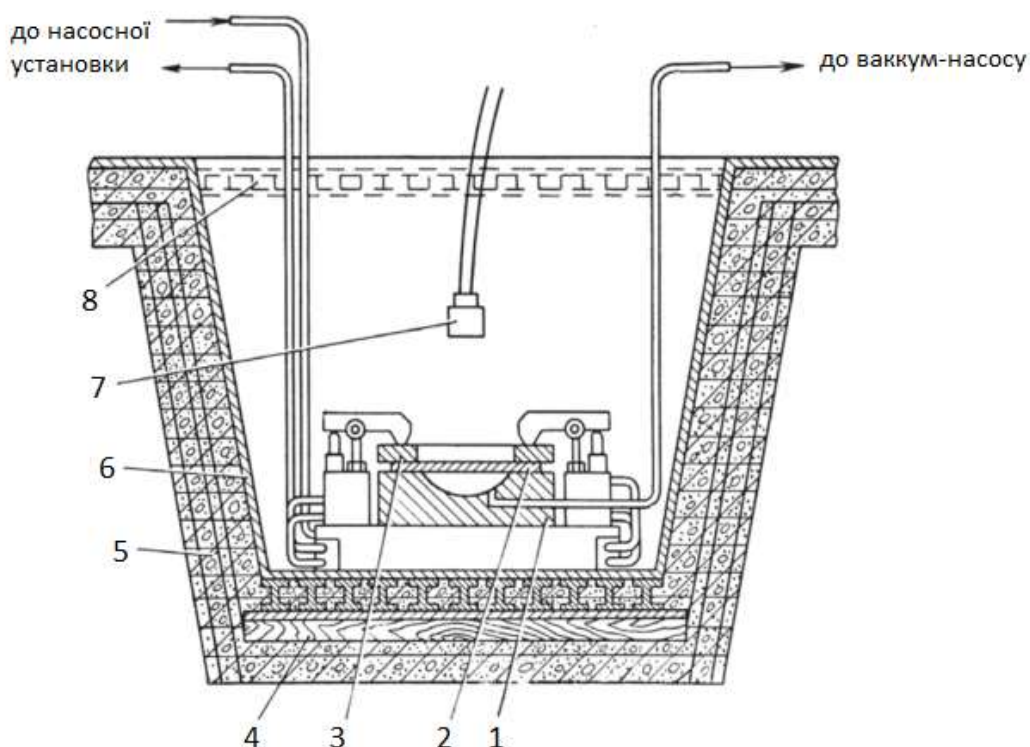


Рисунок 14.1 – Схема установки для штампування вибухом відкритим методом у воді:

1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – затискний пристрій; 4 – антисейсмічна прокладка; 5 – бетонний басейн; 6 – сталеві плити; 7 – заряд; 8 – металеві сітки

Напівзакриті установки застосовуються при штампуванні деталей середніх та малих розмірів. Матриці можуть бути суцільними та роз'ємними. Для штампування деталей із плоских заготовок застосовуються цілісні матриці. Матриці виготовляють із сталі, чавуну, цинкових сплавів, бетону та інших матеріалів залежно від обсягу виробництва, товщини заготовки та виду формоутворення (з калібруванням та без калібрування).

Установки для штампування вибухом від порохових зарядів не вимагають спеціальних полігонів і можуть розміщуватись у заготівельно-штампувальних цехах. Тиск порохових газів на заготовку може здійснюватися безпосередньо, але найчастіше застосовуються установки, в яких тиск порохових газів передається через тверді проміжні тіла і рідини. Оснащення для штампування деталей вибухом від порохового заряду складається з матриці та притискних кілець. При штампуванні деталей середніх габаритів матриці

виготовляють із сталі, чавуну, цинку, алюмінію та епоксидних смол. У донній частині матриць передбачається отвір для виходу повітря.

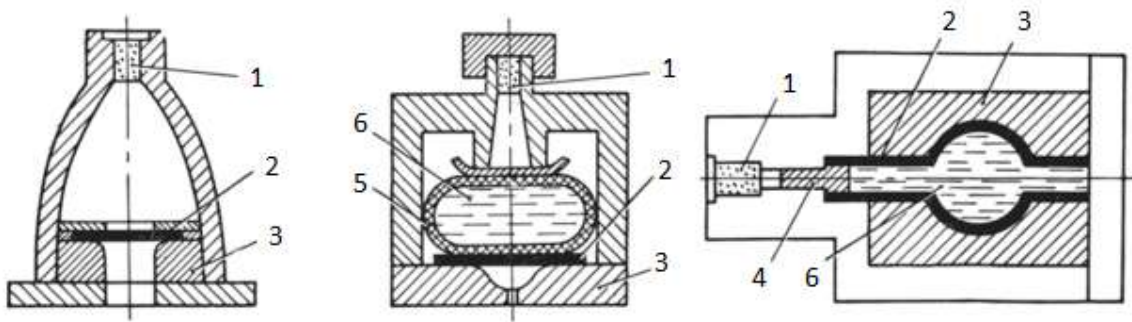


Рисунок 14.2 – Схема для штампування вибухом в установках закритого типу: а) штампування газовим потоком; б) тиск газу через рідке середовище; в) тиск газу через поршень на рідину:

1 – заряд; 2 – заготовка; 3 – матриця; 4 – поршень; 5 – гума; 6 – рідина

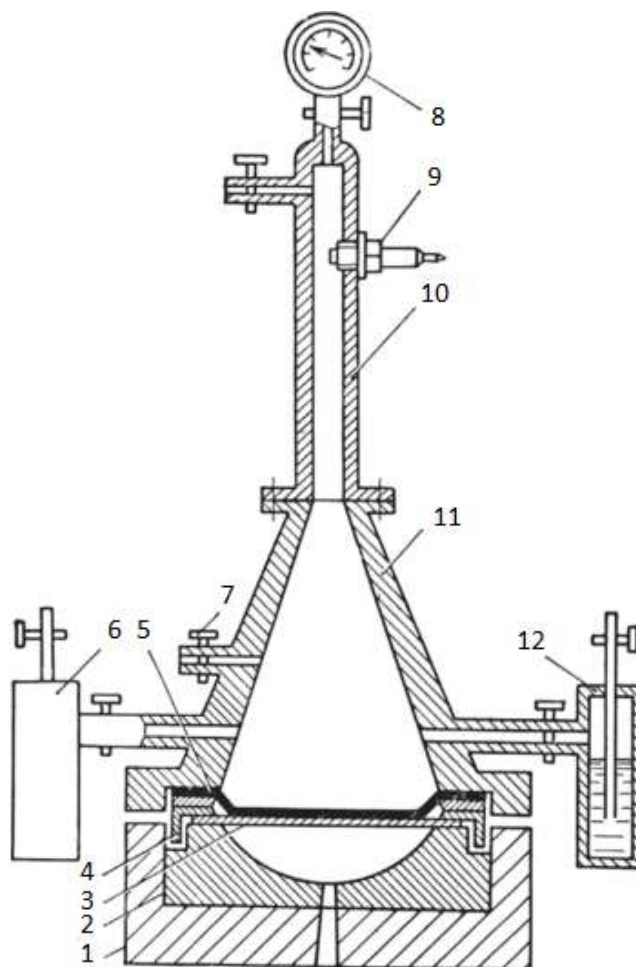


Рисунок 14.3 – Схема установки для штампування вибухом газової суміші:

1 – корпус; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – фіксатор; 5 – гума;  
6, 12 – водяні запобіжні клапани (для подачі кисню і горючого газу);  
7 – штуцер для видалення продуктів згоряння; 8 – манометр;  
9 – запалювальна свічка; 10 – детонаційна трубка; 11 – вибухова камера

Штапуванням вибухом можна здійснювати такі технологічні операції: витяжка, формування, утворення фланців, заклепування, роздача, калібрування, вирубка, пробивання. Енергія вибуху використовується для з'єднання деталей (розвальцьовування труб), зварювання, зміцнення металу.

## 14.2 Електрогідравлічне штампування

Процес електрогідравлічного штампування заснований на перетворенні потужного електричного розряду в рідині на механічну енергію ударної хвилі. Процес може бути здійснений двома способами: 1 – розряд батареї конденсаторів через проміжок між електродами в рідині, 2 – розряд конденсаторів через ініціатор (тонкий дріт).

Штапування першим способом застосовується для виготовлення деталей, які потребують поступового формоутворення за рахунок великої кількості розрядів.

При штампуванні другим способом між електродами перед розрядом встановлюється дріт діаметром 1...2 мм. Дріт виготовляється з алюмінію, вольфраму, танталу, ніобію. Застосування ініціаторів у вигляді дроту дозволяє в кілька разів зменшити робочі напруги.

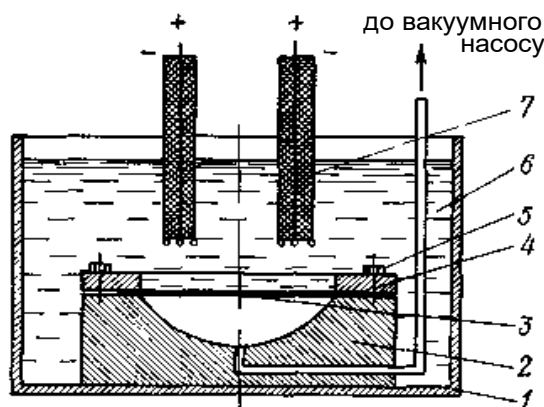


Рисунок 14.4 – Схема електрогідравлічного штампування:

1 – корпус; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4, 5 – фіксатор; 6 – рідина; 7 – електрод

Перед штампуванням повітря з порожнини між матрицею і заготовкою відсмоктується за допомогою вакуум-насоса через вакуумну лінію. При замиканні електричної мережі розрядником накопичений в батареї конденсаторів заряд викликає утворення між електродами потужного електричного розряду у рідині. Миттєве виділення великої кількості енергії призводить до інтенсивного нагрівання та випаровування ініціюючого дроту та малого об'єму рідини з утворенням парогазової порожнини. Імпульсне розширення парогазової порожнини з утворенням ударної хвилі діє на навколишню рідину, яка деформує заготовку (електрогідравлічний ефект). При імпульсному розширенні тиск парогазової порожнини стає меншим за навколишній і обсяг порожнини починає зменшуватися. Протягом всього

процесу парогазова порожнина кілька разів розширюється і стискається, при цьому утворюються додаткові хвилі тиску, що сприяють деформації заготовки.

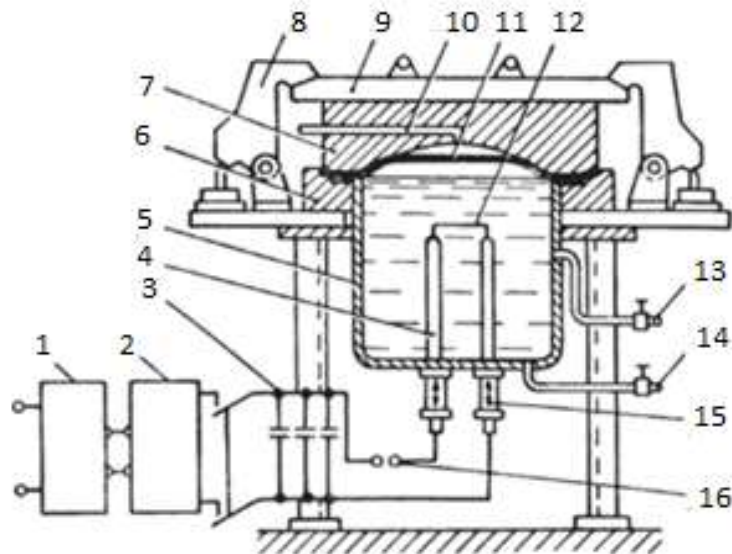


Рисунок 14.5 – Схема установки для електрогідравлічного штампування:  
 1 – трансформатор; 2 – випрямляч; 3 – батарея конденсаторів; 4 – електроди; 5 – корпус; 6 – фланець; 7 – матриця; 8 – пневмозатиск; 9 – плита; 10 – вакуумна лінія; 11 – заготовка; 12 – ініціатор (дріт); 13, 14 – клапани; 15 – регулятор висоти підйому електродів; 16 – розрядник

Гідравлічний удар у рідині має тим більшу силу, чим більша потужність одиничного імпульсу електричного розряду в рідині і чим менший час перебігу цього імпульсу.

Ударна гідравлічна хвиля використовується для формоутворення деталей з листових та трубчастих заготовок.

Електрогідравлічне штампування має ряд переваг перед штампуванням вибухом:

- 1) краща керованість процесом за рахунок варіювання кількості імпульсів і місця розташування розрядних контурів;
- 2) можливість плавної зміни енергії імпульсу;
- 3) можливість здійснення багаторазового розрядного імпульсу;
- 4) безпека в роботі і великі можливості для автоматизації процесу.

Електрогідравлічне штампування застосовується для операцій: витяжки, формування, калібрування, відбортовки, роздачі трубчастих деталей, вирубки і пробивання. Товщина штампованих деталей з кольорових металів, сталі і високоміцних сплавів не перевищує 4...5 мм, а габаритні розміри 500...1800 мм.

### 14.3 Магнітно-імпульсне штампування

Принцип дії: при імпульсному розряді електричного струму високого потенціалу на котушку-індуктор в останньому створюється магнітне поле, яке вихровими струмами деформує тонкостінну заготовку.

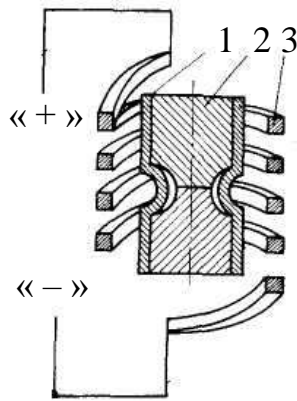


Рисунок 14.6 – Принцип дії установки для магнітно-імпульсного штампування:

1 – заготовка; 2 – матриця (оправка); 3 – котушка-індуктор (соленоїд)

Суть процесу полягає у розміщенні заготовки у полі соленоїда. При замиканні розрядника імпульс струму, накопичений в батареї конденсаторів, проходить через обмотку соленоїда, осердям якого є оправка. При цьому виникає миттєве магнітне поле, яке створює в заготовці вихрові струми. При взаємодії магнітного поля соленоїда з вихровими струмами виникають сили, спрямовані по нормалі до поверхні заготовки, які і спричиняють формозміну заготовки. Чим більший струм і швидкість його зміни в обмотці соленоїда, тим більше його магнітне поле та електрорухома сила, яка індукується у заготовці, і тим більша сила, яка деформує заготовку. Для зарядки батареї конденсаторів використовується підвищуючий трансформатор (до 100 000 В), який живиться від промислової силової мережі.

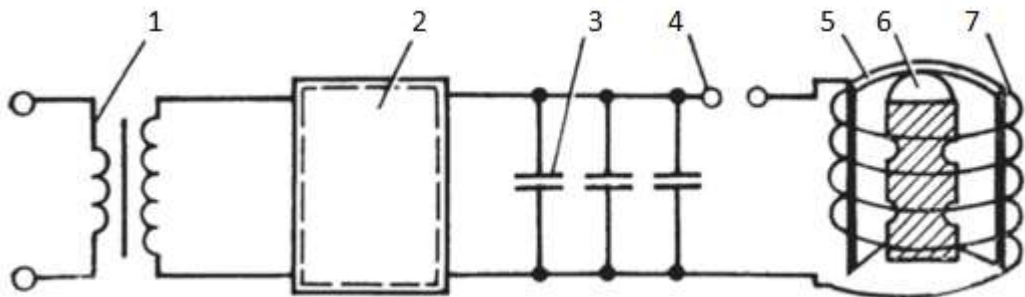


Рисунок 14.7 – Схема електромагнітного імпульсного штампування:

1 – трансформатор; 2 – випрямляч; 3 – батарея конденсаторів;  
4 – розрядник; 5 – заготовка; 6 – оправка; 7 – соленоїд

Даним методом обробляють деталі з листових та трубчастих заготовок із металів і сплавів, що мають високу електропровідність (алюміній, мідь). Обробка вуглецевих і нержавіючих сталей проводиться через середовище кольорових металів, які наносять по поверхні вихідних заготовок.

Здійснювані технологічні операції: штампування плоских деталей, обтискування і роздача трубчастих деталей, нанесення гофрованих рифлень, пробивка отворів, формовка, розвальцювання.



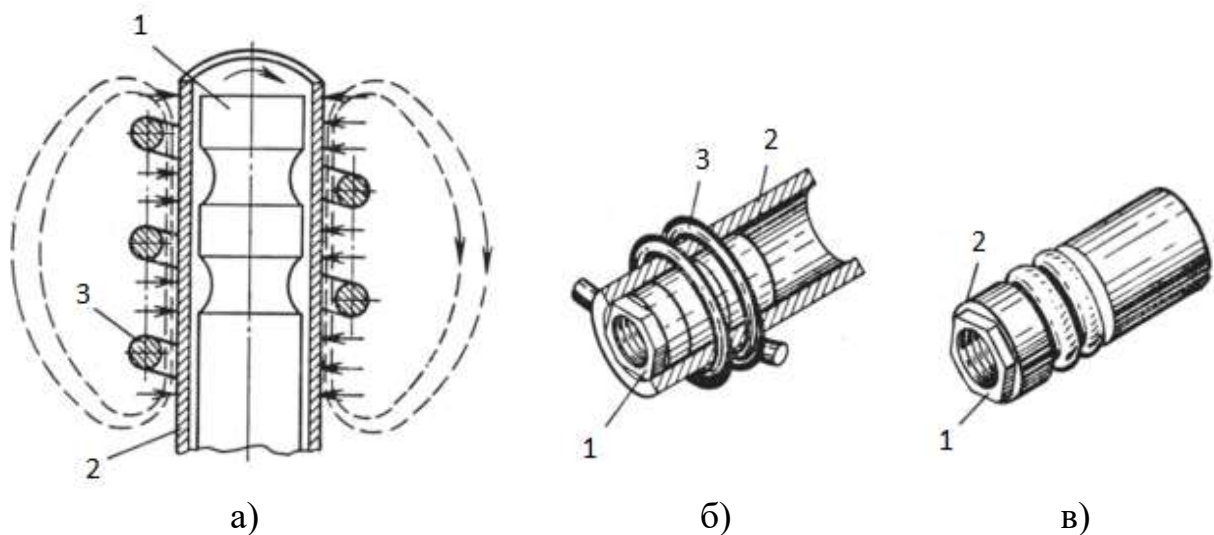


Рисунок 14.8 – Схема обтиснення кінця порожнистої тяги:  
 а) схема процесу; б) вузол з обмоткою перед операцією; в) результат обробки: 1 – наконечник; 2 – порожниста тяга; 3 – котушка (соленоїд)

Однією з особливостей електромагнітного штампування є те, що деформація заготовки відбувається без використання будь-яких проміжних середовищ та деталей. Ця особливість процесу дає можливість проводити штампування з підгрівом заготовки у вакуумі або у захисних середовищах.

На відміну від формування на механічних пресах, матеріал заготовки деформується без зіткнення з інструментом і якість його поверхні не порушується. Тиск на заготовку розподіляється рівномірно, а зусилля легко регулюється зміною енергії імпульсу.

На даний час процес досить освоєний під час виготовлення невеликих заготовок і деталей. Широко застосовується для місцевого видавлювання на стінках труб, запресування штуцерів і ніпелів, роздачі та обтискання окремих ділянок по довжині труби, запресування втулок сальників та цілий ряд інших операцій може бути виконаний зі швидкістю до 10 операцій за хвилину при дуже невеликих витратах часу на переналагодження. Для виконання цих операцій промислово виготовляється універсальне обладнання, яке успішно експлуатується на літакобудівних заводах.

#### 14.4 Штампування з використанням ультразвуку

Один із способів збільшення технологічних можливостей під час обробки високоміцних малопластичних металів при формоутворюючих операціях – накладення на статичні зусилля формування вібрацій ультразвукових частот. Таке накладення поєднує якість процесів ударного дії (необхідне зусилля формування у кілька разів зменшується, а можлива ступінь деформації збільшується). Це відбувається внаслідок того, що вібрації, накладаючись на статичні зусилля деформації, розміцнюють метал і знижують контактне та міжкристалічне тертя. Таким чином, дія вібраційного навантаження аналогічна дії нагрівання заготовки. Оскільки при нагріванні багато малопластичних

сплавів, наприклад сплави на основі молібдену і берилію, інтенсивно насичуються воднем або окислюються, а титанові сплави стають крихкими, то нагрівання заготовки доцільно (навіть при підвищених виробничих витратах) замінювати на підвищення пластичності за допомогою вібраційних навантажень.

Параметри вібратора (частота, амплітуда, збурююче зусилля) необхідно підбирати практично, тому що на даний час немає довідникової літератури. Наприклад, основний показник – частота коливань – може коливатися від 25 Гц до 20 кГц. Високі частоти створюються магнітострикційними вібраторами. Коливання низької частоти забезпечуються електромеханічними ексцентриковими вібраторами.

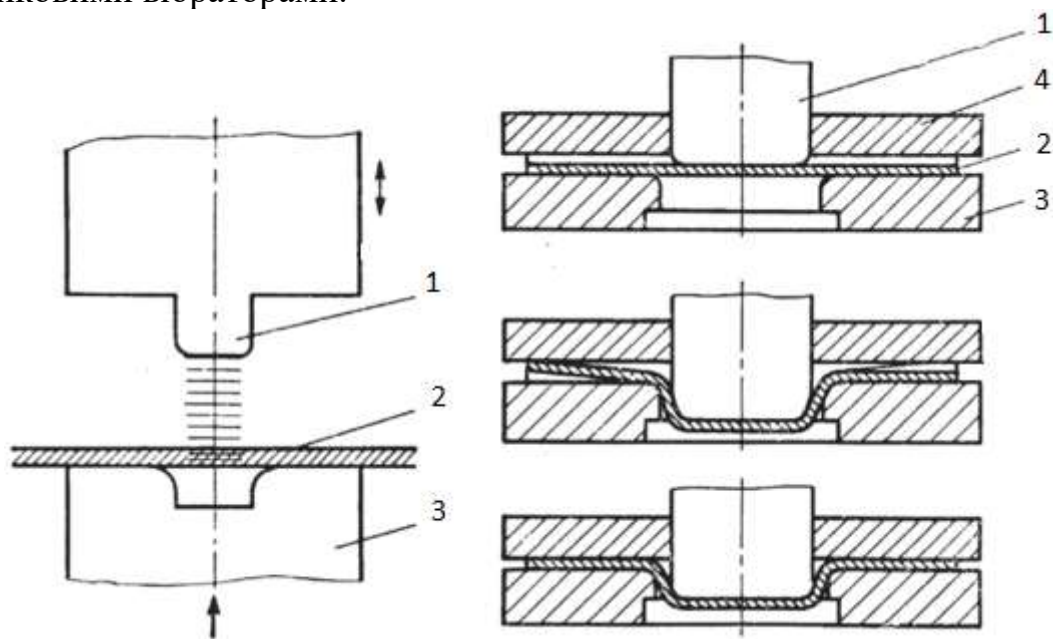


Рисунок 14.9 – Схема штампування з використанням ультразвуку:  
1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матриця; 4 – притискна пластина

Цей спосіб штампування застосовується для розділюючих операцій (вирубівання, пробивання металевих і неметалевих матеріалів), формозмінних операцій (гнуття, витяжка, формування).

При вирубці (пробиванні) деталей із сталей 08кп, 12Х18Н10Т, У9 товщиною до 2-3 мм заготовки нагрівалися вібрацією ультразвуковими частотами до температури 500-600°C, при цьому зусилля вирубки знизилося на 60-70%, шорсткість поверхні зрізу зменшилася на два класи в порівнянні з обробкою без ультразвуку. Відповідно даний спосіб дозволяє проводити обробку крихких і важкодеформівних металів (наприклад сірий чавун товщиною до 3 мм).

Ефективність використання ультразвукової обробки залежить від кількості ультразвукової енергії, що підведена в джерело деформації – чим вища амплітуда коливань, тим більша ефективність.

## 14.5 Гнуття неметалевих матеріалів

В сучасному машинобудуванні використовують наступні групи неметалевих матеріалів:

- 1) пластмаса, гума, ебоніт;
- 2) матеріали на основі паперу – картон, фібра;
- 3) матеріали мінерального походження – слюда, міканіти.

До листових пластмас відносяться гетинакс, текстоліт, склотекстоліт, органічне скло, вініпласт, целулоїд.

Більшість неметалевих матеріалів відмінно піддаються гнуттю в підігрітому стані. Не піддаються гнуттю гетинакс, колекторний і прокладочний міканіти. Тонколистовий текстоліт (2-3 мм) піддається гнуттю при нагріванні до 150-170°C, яке проводять в печі або інфрачервоними променями протягом 1-2 хв., аналогічно обробляється склотекстоліт, але при температурі до 230°C, вініпласт при 160-170°C. Органічне скло при 105-150°C і охолодженні зовнішніх шарів на повітрі протягом 10-15 с., аналогічно целулоїд (температура нагрівання 90-100°C). Гнучкий міканіт гнеться без підігріву, а формується в штампах прес-формах, нагрітих до 150-170°C, з витримкою під тиском протягом 20 с.

Процес гнуття проводять на болванках (пуансонах) покритих байкою або м'якою листовою гумою. Матеріал для болванок: текстоліт, гетинакс, дерево, алюмінієві сплави, чавун.

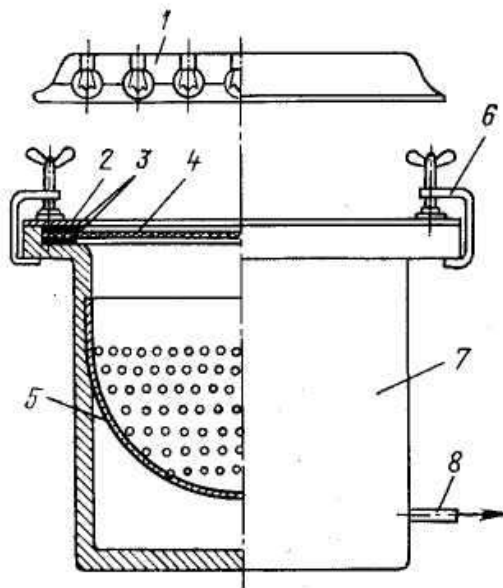


Рисунок 14.10 – Схема установки для гнуття неметалевих матеріалів:  
1 – нагрівальний пристрій; 2 – фіксує кільце; 3 – байка або гума;  
4 – заготовка; 5 – матриця; 6 – фіксує елементи (струбцини); 7 – корпус;  
8 – вакуумний канал (до компресора).

Технологічний процес гнуття:

- 1) заготовка встановлюється на болванку (матрицю);
- 2) легко притискається для надання їй необхідної форми;
- 3) краї заготовки і болванки (матриці) (для запобігання відгинання країв заготовки) скріплюють струбцинами оббитими байкою (гумою);

4) проводять процес гнуття (механічно або за допомогою вакууму (тиск 10,6-13,3 кПа));

5) знімають деталь з болванки (матриці) після охолодження до 30-40°C.

#### 14.6 Технологічні методи штампування гумою і поліуретаном

Штампувальні операції гумою і поліуретаном застосовуються для розділюючих операцій: вирубування (вирізання); пробивки; формозмінних операцій (гнуття, витягування, формування). Гума має низьку зносостійкість і тому застосовується для штампування з невисоким тиском (30...50 МПа). Поліуретан – це синтетичний каучук, що виробляється на основі складних поліефірів. Основні переваги поліуретану над гумою – це високі фізико-механічні властивості, висока масло- і теплостійкість, здатність витримувати значний тиск (до 1000 МПа). Найпоширеніші марки: СКУ-6Л, СКУ-7Л, СКУ-ПФЛ.

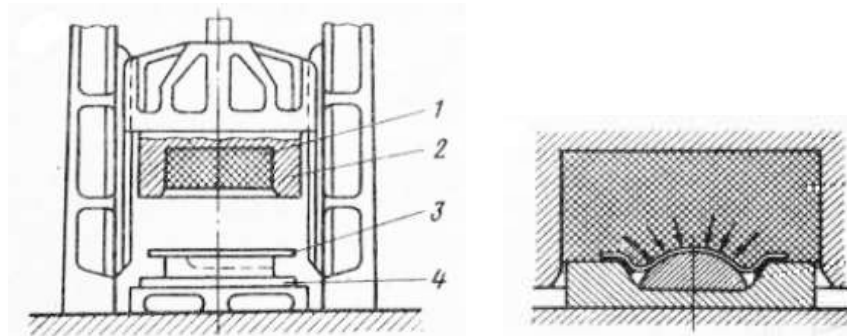


Рисунок 14.11 – Схема штампування гумою і поліуретаном:

1 – поліуретанова або гумова подушка (пуансон); 2 – металевий контейнер;  
3 – заготовка; 4 – матриця.

Гумою вирізують матеріали товщиною: алюміній до 1,5...2 мм; дюралюмін до 1,3 мм; сталь – не більше 0,5...0,6 мм. Поліуретаном вирізують матеріали товщиною: алюміній до 2,5 мм; сталь, латунь, бронза – не більше 1,5 мм. Штамп складається з універсального контейнера, всередині якого запресована поліуретанова або гумова подушка. На нижній плиті штампа монтується вирізний шаблон (матриця), на який встановлюється оброблюваний матеріал (заготовка). Шаблони простої конфігурації виготовляються із сталі марок У8, У8А, У10, У10А. Більш складні шаблони виготовляються з легованих сталей Х12, Х12Ф твердістю НРС 56-63.

## 15 ВИРОБНИЦТВО СКЛАДАНИХ ТА ЗВАРНИХ ЗАГОТОВОК

### 15.1 Складані заготовки

До складаних відносяться заготовки, що складаються з двох і більше частин, з'єднаних між собою паянням, склеюванням, запресовуванням, заклепуванням, обтисканням, різьбовим з'єднанням.

Цей тип заготовок отримав широке застосування в машинобудуванні. Це корпуси, кронштейни, каркаси, рами, ферми, шасі, станини та інші відповідальні деталі машин та механізмів, а також будівельних конструкцій.

СЗ, як правило, застосовують у випадку, якщо:

– виготовлення суцільної заготовки не технологічне або економічно не вигідне;

– до окремих частин заготовки ставляться різні вимоги щодо якості і для їх виготовлення можна використати дешевий і менш дефіцитний матеріал.

Застосування СЗ дозволяє збільшити серійність виробництва, отримати економію матеріалів, підвищити продуктивність праці.

СЗ класифікують за технологічними процесами з'єднання їх частин (склеювані, згвинчувані, клепані), за способом отримання складових частин (ковано-литі, прокатно-ковані, прокатно-литі), за матеріалом складових частин заготовок (сталеві, чавунні, бронзові), за функціональним призначенням (кузови, шасі, ферми, каркаси, резервуари тощо).

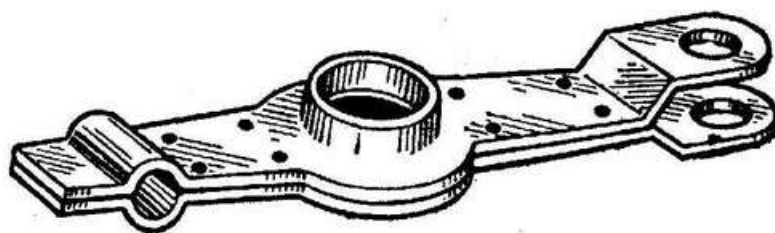
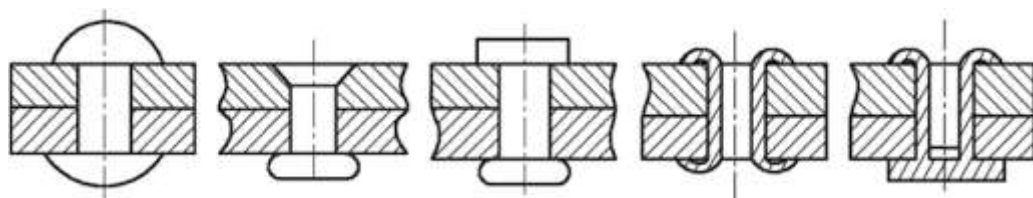


Рисунок 15.1 – Типові конструкції складаних заготовок

До ТП виготовлення СЗ входять такі процеси: формування складових частин, з'єднання частин між собою, виготовлення з'єднувальних елементів (клею, болтів, гайок, гвинтів, заклепок).

## 15.2 Види складаних заготовок

Для виготовлення СЗ часто використовують такі схеми: відливка-поковка; відливка-прокат-поковка та інші.

- *зварно-литі заготовки.* Використання зварно-литих заготовок доцільне при будь-якому виробництві з метою покращення якості деталі, усунення браку суцільно вилитої заготовки, скорочення обсягів механічної обробки та економії матеріалу, зручності транспортування, скорочення матеріальних витрат і робочого часу в ливарному цеху, неможливості виготовлення деталі литтям.

Прикладом зварно-ливої конструкції заготовки служить робоче колесо гідротурбіни ГЕС (якщо маса колеса складає 460 т., діаметр рівний висоті трьохповерхового будинку). За рахунок зварно-ливої конструкції забезпечується технологічність колеса, з'явилась можливість виготовлення елементів робочого колеса на різних підприємствах, що значно розширило фронт робіт і скоротило цикл виробництва.

- *зварно-ковані заготовки.* Виготовлення великих суцільно кованих деталей, як правило, пов'язано із великими відходами матеріалу, із значною неоднорідністю властивостей металу за перерізом поковок, з необхідністю в унікальному або потужному обладнанні. Тому більш доцільно замість кованої заготовки виготовляти зварну із окремих кованих і штампованих поковок, що приводить до значного економічного ефекту та підвищення якості виробів.

- *штамповано-зварні заготовки.* Особливу область займають листові конструкції. Основою таких конструкцій служать деталі, виготовленні листовим штампуванням. В залежності від призначення вони можуть працювати при статичних і при динамічних навантаженнях, при високих і при низьких тисках (ємності для зберігання, транспортування, перевантаження і перероблення газів, рідин, сипучих матеріалів), тому листові конструкції повинні задовольняти одночасно умовам міцності та пластичності.

- *комбіновано-зварні заготовки.* В практиці має місце створення таких комбіновано-зварних виробів, коли вихідними заготовками є одночасно поковки, виливки і листові штамповки. Крім цього, якщо умови роботи окремих частин конструкції різні, то можуть бути і різні вимоги до основного металу. Прикладом такої конструкції може служити ротор газової турбіни. По ободу диска діють високі температури і відносно невеликі зусилля, а центральна частина працює в умовах невисоких частин і дії великих зусиль. Тому технічно і економічно доцільно виготовляти зварний ротор – центральна частина з високоміцної сталі перлітного класу, а обід диска із жароміцної аустенітної сталі. Переваги комбіновано-зварних конструкцій проявляються при виготовленні тонкостінних довгих і широких деталей, коли можливе використання прокату, поковки і відливки з'єднаних в єдину конструкцію.

## 15.3 Зварні заготовки

СЗ широко розповсюджені у машинобудуванні (до 50%), що пояснюється економією матеріалів, зниженням вартості виробів, високою продуктивністю устаткування та якістю виробів. Їх застосування дозволяє спростити

конструкцію вихідних заготовок, зменшити їх товщину і масу, використовувати різні профілі сортового та спеціального прокату. Порівняно з відливками та поковками ЗЗ сприяють економії металів (40...60%), економії капітальних витрат виробництва, зменшують трудомісткість виготовлення та вартість заготовок, скорочують терміни їх виготовлення. Перехід до виробництва ЗЗ, дає змогу підвищити рівень уніфікації та технологічності їх конструкцій, якості, продуктивності праці та знизити вартість і матеріаломісткість машин.

Зварювання класифікують за станом металу в процесі зварювання (розплавленням і тисненням) та за видом використовуваної енергії (електричне, хімічне, променеве та механічне). Відповідно електричне зварювання поділяють на дугове, контактне, електрошлакове, індукційне, плазмове. Хімічне зварювання – на газове і термічне, а механічне – на ковальське, тиском, вибухом, тертям та ультразвуком.



Рисунок 15.2 – Типові конструкції зварних заготовок

Більшість ЗЗ виготовляють із сортового та спеціального прокату різних матеріалів, що дає змогу створювати легкі вироби з високою міцністю та жорсткістю.

Недоліки ЗЗ: наявність внутрішніх напружень, що спричиняють їх жолоблення і втрату точності форми та розмірів поверхонь, висока трудомісткість та низька продуктивність праці при виготовленні складних за формою заготовок, не всі метали зварюються.

## 15.4 Основні ТП виготовлення зварних заготовок

Структура ТП виготовлення ЗЗ складається із ТП виготовлення їх складових частин, ТП зварювання та термічного оброблення.

Термічне оброблення ЗЗ здебільшого виконують з метою поліпшення властивостей металу шва та пришовної зони, а також для усунення внутрішніх напружень після зварювання. Режими термічного оброблення визначаються хімічним складом і фізико-механічними властивостями матеріалу, вони встановлюються на основі дослідно-експериментальних робіт і наведені в спеціальній та довідковій літературі. Термічне оброблення сталевих заготовок здійснюють відпуском.

Для виготовлення ЗЗ використовують наступні технологічні процеси:

- *дугове зварювання* (ручне, та автоматичне) дає змогу зварювати заготовки під шаром флюсу, в середовищі захисних газів (аргону, гелію, вуглекислого газу) чи самозахисним зварювальним дротом. Ручним зварюванням зварюють об'ємні заготовки товщиною 4...8 мм, автоматичним – до 14 мм. Продуктивність автоматичного зварювання у 6...8 разів вища від ручного.

Для виконання дугового зварювання використовують постійний та змінний струми. Для зварювання постійним струмом основним устаткуванням є зварювальні генератори з двигунами та випрямлячі, а для зварювання змінним струмом – зварювальні трансформатори. Усі зварювальні машини обладнані регуляторами струму. Режими зварювання залежать від діаметра електрода, значення зварювального струму та довжини дуги. Для виконання автоматичного зварювання застосовують зварювальні напівавтомати та автомати. Зварювання виконують розплавними і не розплавними електродами. Для ручного зварювання застосовують електроди з покриттям, а для автоматичного – дріт без покриття. Електроди залежно від їх призначення виготовляють з різних матеріалів: сталі, чавуну, міді, латуні, бронзи, алюмінію та твердих сплавів. Електроди за марками матеріалів поділяють на три групи: вуглецеві, леговані та високолеговані. Діаметр електрода вибирають залежно від товщини зварюваного металу та типу зварного шва.

Значення зварювального струму залежить від товщини зварюваного матеріалу, швидкості зварювання, розташування шва у просторі, товщини та виду покриття електрода, його діаметра. На якість шва суттєво впливає довжина дуги: чим коротша дуга, тим вища якість шва.

- *електричне контактне зварювання* – один з високопродуктивних способів зварювання. Воно легко механізується та автоматизується, його особливістю є використання короткочасних імпульсів зварювального струму великої сили. Такий режим зварювання підвищує продуктивність праці, сприяє економії електроенергії, зменшує можливість окисидування заготовок у зоні термічного впливу, дає змогу керувати процесом тепловиділення та тепловідведення.

Машина для контактного зварювання складається зі знижувального трансформатора, механізмів закріплення і переміщення заготовок та пульта керування. Розрізняють зварювання стикове, точкове, шовне та імпульсне.



Стиковим зварюванням з'єднують сталевий, алюмінієвий та титановий прокат; точковим і шовним – листові заготовки, швелери, кутки, прутки. Імпульсне (конденсаторне) зварювання дає змогу з'єднувати заготовки з різною масою та товщиною і відрізняється значною економією енергії.

- *електрошлаковим зварюванням* з'єднують товстостінні та масивні конструкції (вали прокатних станів, двигунів внутрішнього згорання). Цей спосіб дає змогу зварювати заготовки практично будь-якої товщини. Зварювання виконують без додаткового механічного оброблення зварюваних елементів, витрати електричної енергії удвічі менші, ніж для зварювання під шаром флюсу, менші витрати флюсу.

- *електронно-променевим зварюванням* виконують зварні з'єднання на готових деталях без суттєвих деформувань, для заготовок з тугоплавких металів (молібдену, танталу, вольфраму) та хімічно активних металів (цирконію, берилію), які сильно реагують з киснем, азотом і окисами вуглецю.

- *газове зварювання* забезпечує більш рівномірне нагрівання місць зварювання, ніж дугове, тому його застосовують для виготовлення тонкостінних заготовок з маловуглецевих і низьколегованих сталей, кольорових металів та їх сплавів, виправлення дефектів чавунних і сталевих виливків. Для спалювання придатні ацетилен, природний газ, водень, пари бензину та нафти. Основним устаткуванням є газові балони та генератори, редуктори та пальники. Як присаджувальний матеріал використовують дріт і прутки з матеріалів, хімічний склад яких близький до складу зварюваних матеріалів. Широко застосовують захисні флюси.

- *дифузійним зварюванням* з'єднують різнорідні матеріали, а також тугоплавкі метали та неметалеві матеріали з металами, зварюють заготовки різної товщини та маси. Процес дифузійного зварювання виконують у вакуумних камерах. Нагрівають заготовки струмами високої частоти. Якість зварних швів дуже висока.

- *зварювання тертям* порівняно з контактним дає змогу в 2...4 рази зменшити припуски, значно зекономити дефіцитні матеріали. Застосовують його для виготовлення різальних і контрольних-вимірних інструментів, технологічного спорядження.

### **15.5 Конструювання складаних і зварних заготовок**

Конструювання проводять на основі аналізу креслення та технічних вимог до готової деталі. Послідовність конструювання: оцінюють можливість виконання з'єднання частин заготовки, добирають спосіб і вид з'єднання, елементи конструкції з'єднання, розробляють конструкції складових частин і складаної чи зварної заготовки, добирають матеріали вихідних заготовок. Увагу приділяють конструкції та розмірам стикових елементів (впливають на якість та ефективність з'єднання).

Так спосіб зварювання та вид зварного шва призначають залежно від матеріалів складових частин заготовки, їх конфігурації та розмірів, зварюваності матеріалів, експлуатаційних вимог до якості заготовки (міцності,

точності форми та розмірів, герметичності, якості поверхонь, стану поверхневих шарів) та необхідної продуктивності праці.

*Рекомендації для застосування різних способів зварювання:* при складанні заготовки для довгих зварних швів придатне дугове зварювання, товстостінні елементи з'єднують електрошлаковим, а листові та стрічкові заготовки - контактним зварюванням. Кольорові сплави та леговані сталі зварюють захищаючи зону зварювання від окислювання дуговим, електронно-променевим чи дифузійним зварюванням. Рекомендованими видами з'єднань для дугового зварювання є стикові, кутові, таврові, внапуск.

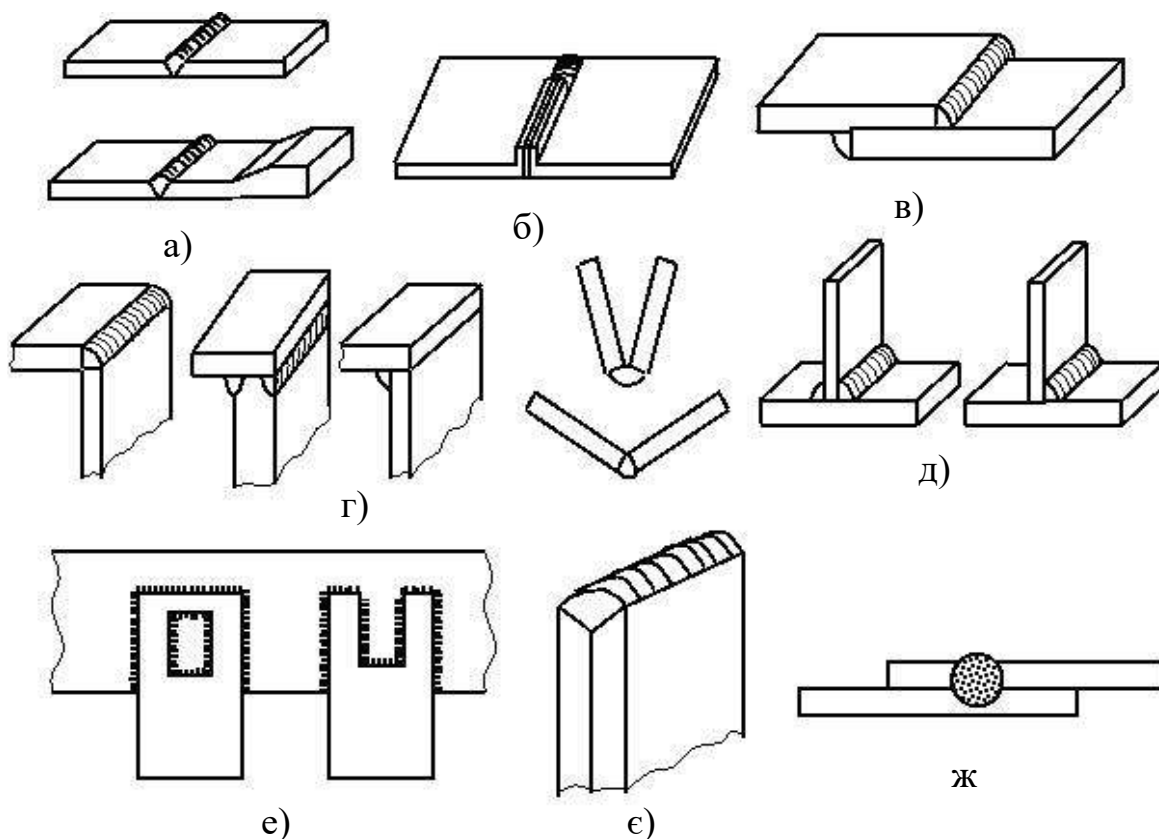


Рисунок 15.3 – Види з'єднань складових зварних заготовок: а, б) стикові; в) внапуск; г) кутові; д) таврові; е) прорізи; е) торцеві; ж) електрозаклепочні

Зварні з'єднання, залежно від товщини зварюваних матеріалів, виконують без скосів країв (С2, С4, У4, Т1), з однібічним (С15, У6, Т6), двобічним (С21, У9, Т9), симетричним чи несиметричним скосом країв. Криволінійну форму скосів приймають для значних товщин зварюваних заготовок. Товщину зварюваних елементів визначають з умови рівної міцності основних перетинів заготовки та зварного шва.

У процесі конструювання зварної заготовки зварні шви та пришовна зона повинні забезпечити задану якість заготовки; кількість зварних з'єднань та їх довжина повинні бути мінімальними; конструкція та взаємне розташування з'єднаних елементів повинні забезпечувати вільний доступ зварного інструмента в зону зварювання; з'єднані елементи мають бути рівностінними,

симетричними та з плавними переходами геометричних форм конструкції; конфігурація зварюваних країв має забезпечувати якісне проварювання шва на всю товщину; зварювані частини заготовки мають забезпечувати надійну і відносну фіксацію в процесі зварювання; кількість швів і наплавленого металу мають відповідати товщині зварюваних елементів, що забезпечує відсутність внутрішніх напружень та спотворень форми заготовок.

*Оформлення креслень і технічних вимог:* креслення зварної заготовки виконують як складальне, в комплект якого входять креслення складових частин заготовки, виконані за вимогами стандартів ЄСКД і стандартів для кожного виду заготовки (прокат, відливка, поковка) та специфікації. У кресленні та технічних вимогах наводять необхідні параметри якості заготовки та зварних швів, способи та засоби їх контролю, перелік спеціальних випробувань (за необхідністю) місць зварювання, вказані необхідність і зміст термічної та іншої обробки, припустимі дефекти, їх форма, розміри й кількість, можливі способи їх усунення. Значні за обсягом технічні вимоги оформляють окремим документом.

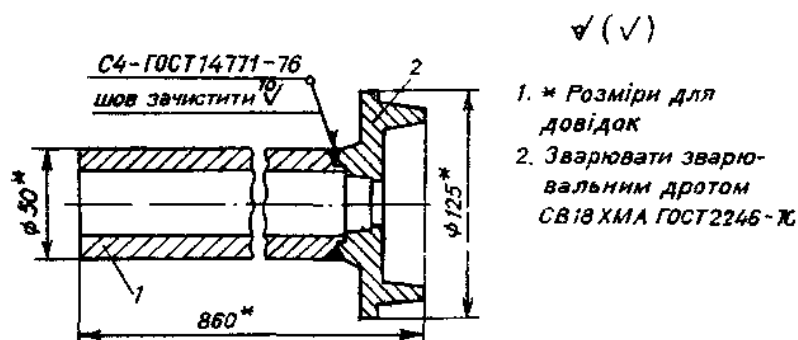


Рисунок 15.4 – Зварний виріб «фланець»:  
1 – хвостовик (труба); 2 – диск (поковка)

## 16 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК

### 16.1 Сучасні технології виробництва заготовок по газифікованих моделях

Даними технологіями займається Фізико-технологічний інститут металів і сплавів Національної академії наук України. Технологічною особливістю лиття по газифікованих моделях є те, що рідкий метал заливається не у порожнину форми, а заміщує пінополістирольну (пінопластову) модель. Даним методом можна виготовляти високоточні заготовки деталей масою від десятків грам до декількох тон. Відповідно точність розмірів і чистота поверхні залежать не від процесу формовки, а від якості пінополістирольної моделі. Тому немає потреби у високій кваліфікації формувальника, оскільки процес формування у більшості процесів полягає лише у засипці контейнерної опоки із віброущільненням.

Моделі виготовляють декількома способами:

- із блочного пінополістиролу щільністю 20...30 кг/м<sup>3</sup>, шляхом вирізання необхідних компонентів нагрітим ніхромовим дротом діаметром 0,6...1,2 мм та наступним їх склеюванням. Даний спосіб є майже єдиним прийнятним з економічних і технологічних міркувань у одиничному та ремонтному виробництві. Проте має наступні недоліки: невисока точність розмірів, значна шорсткість поверхні, складність отримання тонкостінних ребер (менше 3 мм), вузькі межі щільності моделі (оскільки блочний пінопласт виготовляється переважно для будівельної галузі і має відносно низьку щільність), складність точного складання в єдину конструкцію моделі (особливо крупногабаритних).



Рисунок 16.1 – Приклади пінополістирольних моделей отримуваних вирізуванням дротом

- фрезеруванням із пінополістирольних плит трьох координатним фрезерним верстатом з ЧПК (3D фрезер). Даний спосіб є сучасним методом виготовлення моделей для заготовок будь-якої складності та розмірів з підвищеними вимогами до точності та якості поверхні. Таким чином забезпечують виконання центрувальних та установчих елементів для особливо крупних моделей, відсутність зазорів між складовими. Більшість керуючих програм для 3D верстатів адаптовані для роботи у середовищі Windows, Solid works, Inventor. Особливістю роботи 3D фрезера є висока швидкість різання, яка забезпечує гладкість поверхні за рахунок плавлення поверхневих шарів пінопласту.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 16.2 – Приклади пінополістирольних моделей отримуваних на 3D фрезері:

а) загальний вигляд пристрою; б) лоток; в) диск колеса; г) елементи конвеєра; д) жолоб габаритами понад 2 м; е) кришка насоса

- виготовлення моделей автоклавним способом відрізняється від попередніх тим, що попередньо підпінені гранули пінополістиролу, із щільністю від 15 до 50 кг/м<sup>3</sup> і розмірами від 0,5 до 3 мм задувають у прес-форми і спікають парою при температурі 110...130°C та тиску 110...125 кПа.

Модельний ряд автоклавів має об'єм камер: 100, 400, 700 та 1000 літрів, а також оснастку для автоматичного контролю рівня води, температури пари, тиску.

Проте моделі товщиною більше 30 мм складно пропекати по товщині, відповідно потрібно передбачати внутрішні порожнини у моделі. Також моделі виготовлені таким способом, в залежності від марки пінополістиролу та кліматичних умов, потребують стабілізації протягом 2...24 годин.

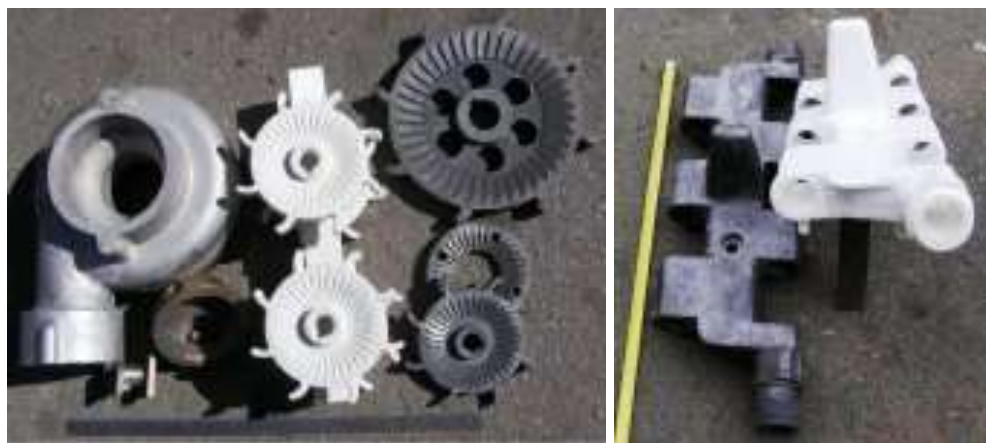


Рисунок 16.3 – Відливки та моделі спечені в автоклаві

- дешевші та якісні пінополістирольні моделі для крупносерійного виробництва виготовляють методом «теплого удару» на напівавтоматах. Дане обладнання потребує кваліфікованого персоналу, стиснутого повітря тиском до 1000 кПа, сухої пари температурою +135...150°C і тиску 130...150 кПа, води, температурою до 30°C для охолодження, вакууму з тиском 75...150 мм рт. ст. Дана технологія відрізняється від технологічних процесів виготовлення заготовок на пластавтоматах, екструдерах і прес-машинах. Відповідно для розробки прес-форм потрібні висококваліфіковані спеціалісти та суворе дотримання технології виробництва, ігнорування даних вимог призводить до зниження продуктивності та якості продукції.



Рисунок 16.4 – Відливки та моделі отримані технологією «теплого удару»

Загальні недоліки технологій виробництва деталей по газифікованим моделям: виділення шкідливих речовин при вигоранні моделі, відповідно потрібне вакуумування форми та відкачування і каталітичне допалювання продуктів згоряння. Як похідна – висока вартість установок, що також збільшує собівартість виробу.

### **16.2 Кріотехнології у виробництві відливок**

Кріотехнологія отримання литих виробів є інноваційним процесом у сучасному машинобудуванні і розробляється у Фізико-технологічному інституті металів і сплавів Національної академії наук України.

Процес використовується у процесах формування моделей для лиття у пісчані форми. Тобто ливарна модель виготовляється шляхом заливання у вихідну форму води з наступною її заморозкою при температурі  $-15...18^{\circ}\text{C}$  (для прискорення їх наступного танення у формі). Розроблено також різновид вакуумного формування по льодовим моделям, які запаковані у плівку, тобто вода не контактує при заливці із піском, що суттєво зменшує втрати розхідних матеріалів (вода, пісок). Така технологія відноситься до кріовакуумних процесів і називається вакуумно-плівковою формовкою.

Склад льодових моделей, в яких один реагент зв'язуючої композиції знаходиться в моделі, а інший в пісчаній суміші, забезпечує достатню технологічність при отриманні оболонкових форм шляхом просочування водою із талої моделі пісчаного розчину із додаванням швидкотвердіючого цементу. Так для виготовлення оболонкових форм заготовок масою 0,2...5 кг потрібно від 6 до 10 хв.



Рисунок 16.5 – Моделі із льоду, пісчані оболонки і отримані відливки із чорних та кольорових металів



Дана технологія відноситься до маловідходних та безвідходних, екологічних, забезпечує високі норми ресурсозбереження, зменшує металоємкість виробів та підвищує їх якість.

Зокрема льодовими моделями можна замінити, при литті по газифікованих моделях, парафіново-стеаринові та пінополістирольні моделі, оскільки втрати модельного складу із парафіново-стеарину складає 40...90 кг на 1 т. заготовок, а пінополістиролу розхід 6...6,5 кг на 1 т. заготовок при кінцевих витратах 100% (вигоряє).

### 16.3 Стереолітографія

Стереолітографія (SLA (Stereolithography Apparatus) технологія) – це технологія 3D-друку, яка використовується для виробництва моделей, прототипів, зразків і деталей продукції шар за шаром, шляхом затвердіння фото-чутливого матеріалу, який піддається дії лазера або іншого подібного джерела енергії.

Стереолітографію було винайдено понад 30 років тому Чарльзом Халлом. З часом технологія розвивалася, і на сьогоднішній день вона вважається однією з найбільш затребуваних, оскільки дозволяє отримати якісні вироби з високою роздільною здатністю друку – товщина шару варіюється від 0,025 до 0,15 мм залежно від 3D принтера та заданих параметрів.

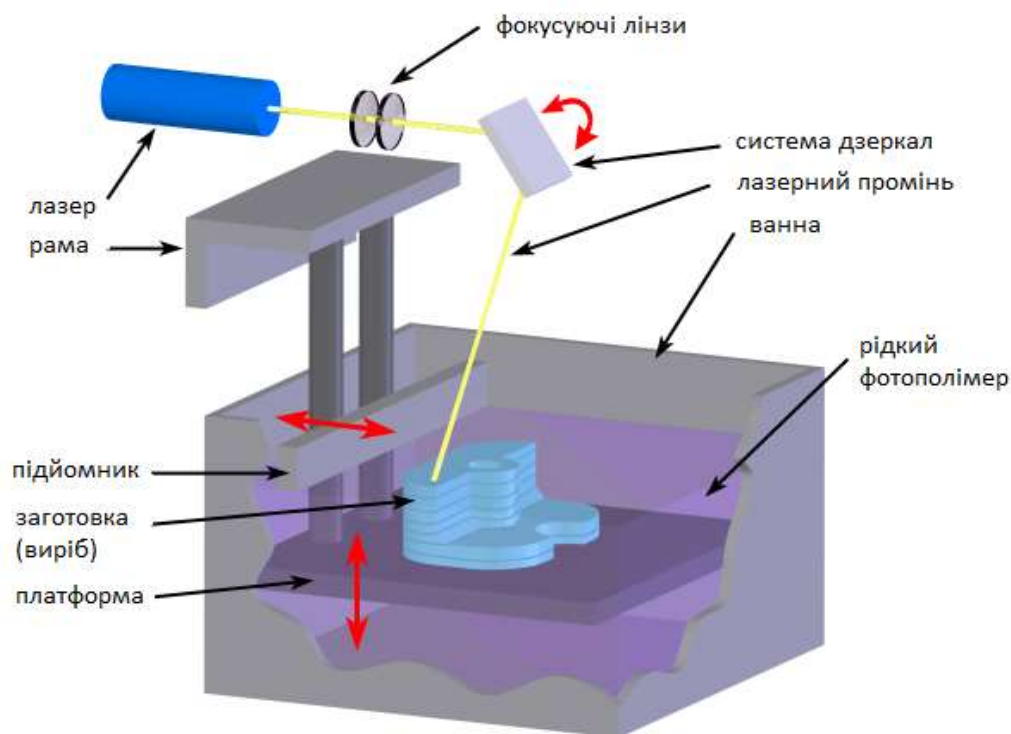


Рисунок 16.6 – Схема функціонування 3D-принтера на основі SLA технології (стереолітографія)

Дана технологія передбачає використання в якості модельного матеріалу спеціального фотополімеру – світлочутливої смоли і забезпечує побудову високоточних моделей будь-яких розмірів та форм.



Рисунок 16.7 – Конструкції виробів і заготовок отримуваних стереолітографією

Інструментом є ультрафіолетовий лазер, який послідовно переводить поперечні січення моделі на поверхню фотополімеру. Матеріал твердіє тільки в тому місці, де пройшов лазерний промінь. Після окреслення контуру січення на шар, який затверднув, наноситься новий шар смоли і знову лазером намічається наступний контур. Процес триває до завершення побудови моделі. Якість поверхні залежить від кроку побудови.

Перед тим, як відправити модель на 3D-друк, потрібно розділити її на окремі шари. Для цього використовуються спеціальне програмне забезпечення. На 3D установках виріб формується на рухомій платформі. Щоразу платформа опускається вниз на товщину одного шару, а промінь лазера у рідкому полімері вимальовує відповідний зріз 3D моделі. При цьому установка не чекає, доки шар повністю затвердіє, а продовжує друкувати наступний. Після того, як виріб буде готовий, його промивають для усунення рідких залишків полімерної смоли і поміщають під ультрафіолетову лампу до затвердіння. Цей процес займає близько 20 хвилин. У середньому швидкість друку за SLA-технологією – 5 мм/год.

Подібна технологія друку дозволяє створювати особливо міцний та однорідний виріб з високим ступенем деталізації. А за рахунок того, що в

процесі друку полімер твердне лише на 20% і 3D-принтер починає формувати наступний шар, час відтворення виробу по 3D-моделі значно скорочується.

Стереолітографія має безліч переваг:

- дозволяє створювати моделі зі складною геометрією, високою деталізацією та відмінним відтворенням дрібних елементів;
- мінімальна товщина одного шару становить 0,025 мм;
- висока швидкість друку при збереженні якості;
- готовий виріб легко піддається механічній обробці та коригуванню;
- у процесі друку фактично немає відходів;
- максимальні розміри середньостатистичного об'єкта, створеного на 3D-установці, становлять 700x700x700 мм;
- готова модель має чудові механічні характеристики, відрізняється міцністю та високою якістю.

В машинобудуванні стереолітографія широко використовується для виготовлення ливарних деталей, а технологія «Quick-cast» дозволяє отримувати моделі із стільниковою внутрішньою структурою, що значно зменшує масу моделі.

Поки що SLA-технологія не використовується для промислового виробництва. Вона найбільше підходить для створення моделі зі складною геометрією в одиничному екземплярі, яка послужить функціональним прототипом. Причина проста – висока вартість витратних матеріалів. Ціна за літр полімерної смоли коливається від \$80 до \$120. Вартість SLA-принтерів висока - від \$10 000 до \$500 000 за промислову установку. Хоча з розвитком технології з'являються і бюджетніші варіанти. Наприклад, FORM 1 від компанії Formlabs коштує «лише» \$2400.



Рисунок 16.8 – Загальний вигляд SLA-принтера від компанії Formlabs

#### 16.4 Селективне лазерне спікання

Селективне лазерне спікання (SLS (Selective Laser Sintering) технологія) – це адитивна технологія виробництва, яка використовує лазер як джерело енергії та тепла для спікання порошкоподібного матеріалу, автоматично направляючи

лазер на точки простору, визначені 3D-моделлю, з'єднуючи матеріал разом для створення міцної структури. Принцип базується на точковому спіканні лазерним променем пластикових порошків з різними додатковими компонентами. Потужність лазера в сучасних принтерах становить від 30 до 200 Вт. Так як матеріал в процесі друку проходить повне розплавлення, швидкість виготовлення висока: в середньому 20 мм/год. У сучасних 3D принтерів відносно великі камери побудови: до 1 метра. Тому за необхідності можна надрукувати великий виріб або одночасно отримати невелику партію.

В якості матеріалів використовують поліамід, полістирол, пісок і порошки металів. Суттєвою перевагою даного способу є відсутність підтримок під час побудови моделі (на відміну від стереолітографії), оскільки побудова проводиться в однорідній масі порошку. Селективне лазерне спікання не може похвалитися великою різноманітністю кольорових витратних матеріалів, як, наприклад SLA. Однак це не означає, що вибір обмежений. Справа в тому, що SLS друк орієнтований на промислові цілі, за рахунок чого і матеріали виробляються відповідні. На сьогоднішній день є безліч видів різноманітних порошкових сумішей, серед яких нейлон, кераміка, полістирол, і т.п. Металеві порошки доступні в асортименті – сталь, алюміній, титан, кобальт та різноманітні суміші сплавів. Багато виробників наголошують на специфічні властивості композитів. Так, для SLS друку доступні удароміцні, зносостійкі, жаростійкі, гнучкі, інженерні та термостійкі порошки.

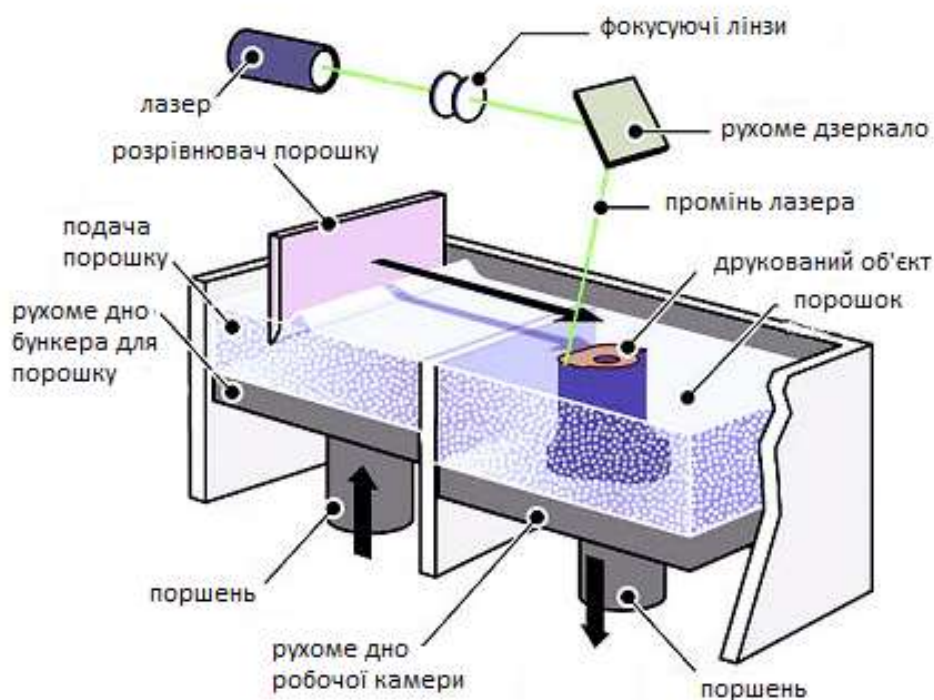


Рисунок 16.9 – Схема функціонування 3D-принтера на основі SLS технології (селективне лазерне спікання)

При селективному лазерному спіканні лазер є джерелом тепла, а не світла як у світлолітографічних процесах. Робота починається з розігрівання матеріалу

до температури, наближеної до точки плавлення. Це необхідно, щоб підготувати порошковий 3D принтер до швидкої роботи. Наступні етапи:

- порошок подається до камери побудови та розрівнюється валиком до товщини мінімально можливого шару;
- промінь лазера спікає шари порошку у точках, які співпадають з перетином 3D моделі;
- подається наступний шар порошку, а камера побудови трохи опускається; - процес повторюється аж до отримання готового виробу.
- після закінчення процесу модель видаляється із порошкової маси та очищується від порошку.

Що стосується особливостей, то SLS забезпечує лише часткове плавлення порошку, необхідне лише для його об'єднання в єдиний елемент. SLS 3D друк проводиться на принтерах з гнучкими налаштуваннями. Залежно від проекту, регулюються параметри температури, глибини, часу впливу. Є можливість налаштувати роботу тільки з перехідними межами або ж вести спікання по всій глибині виробу. Після завершення 3D друку може знадобитися постобробка виробу: шліфування або полірування. Але сучасний 3D друк методом SLS забезпечує гладкість поверхонь, тому потреба у постобробці найчастіше не виникає.

Технологію селективного лазерного спікання використовують у таких галузях: машинобудування; авіакосмічна промисловість; ливарне виробництво та ін.

Зокрема 3D друк SLS використовують для виготовлення функціональних прототипів, малосерійної продукції, моделей (форм) для лиття, деталей обладнання, а також труб, шлангів, ізоляційних шайб, прокладок.

Головна особливість селективного лазерного спікання – можливість друкувати вироби зі складною геометрією без підставок для підтримки. Цю функцію виконує сам матеріал друку: порошок, на який не вплинув лазерний промінь. Ця особливість полегшує процес друку складних деталей, які неможливо виготовити стандартними методами. Виключений ризик пошкодження готового виробу. Є можливість оптимізувати виробничі витрати.

Інші переваги SLS технології:

- після завершення друку можна зібрати порошок, що залишився: до 50% матеріалу підходить для повторного використання;
- доступний друк одразу декількох виробів, тому SLS вважають найкращою технологією для серійного виробництва.

Для 3D друку за технологією SLS також використовують пластикові порошки з додатковими компонентами:

- поліамідні порошки (PA11, PA12, TPU);
- модифіковані порошки (склонаповнені, керамонаповнені);
- ВІО-сумісні поліаміди.

Вибір матеріалів великий: є можливість отримати прототип з необхідними характеристиками витривалості, температурної стійкості, міцності. У готових прототипів – якісні механічні характеристики. Вони міцні, гнучкі, термічно стабільні, деталізовані. Тому отриману продукцію можна

використовувати не тільки в якості прототипів, але й для інтеграції у діючі механізми, системи. За міцністю вони можуть конкурувати з виробами, виготовленими за традиційними технологіями: наприклад, литтям під тиском.

Вартість SLS-принтерів від \$9 000 за бюджетний варіант від Sinterit.



Рисунок 16.10 – Загальний вигляд SLS-принтерів від компанії Sinterit



Рисунок 16.11 – Конструкції виробів і заготовок отримуваних селективним лазерним спіканням

## 17 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

### 17.1 Технологічні процеси гідроабразивної обробки

Гідроабразивне різання – це відокремлення частини матеріалу за допомогою керованого струменя рідини. В якості рідини використовують воду, а для збільшення її руйнівної сили додають абразив. Тиск рідини 1000...5000 атм., діаметр алмазної форсунки 0,1...0,5 мм, швидкість 800...1000 м/с). Швидкість різання від 1 мм/хв. до 30000 мм/хв. Товщина оброблюваного металу - до 230 мм.

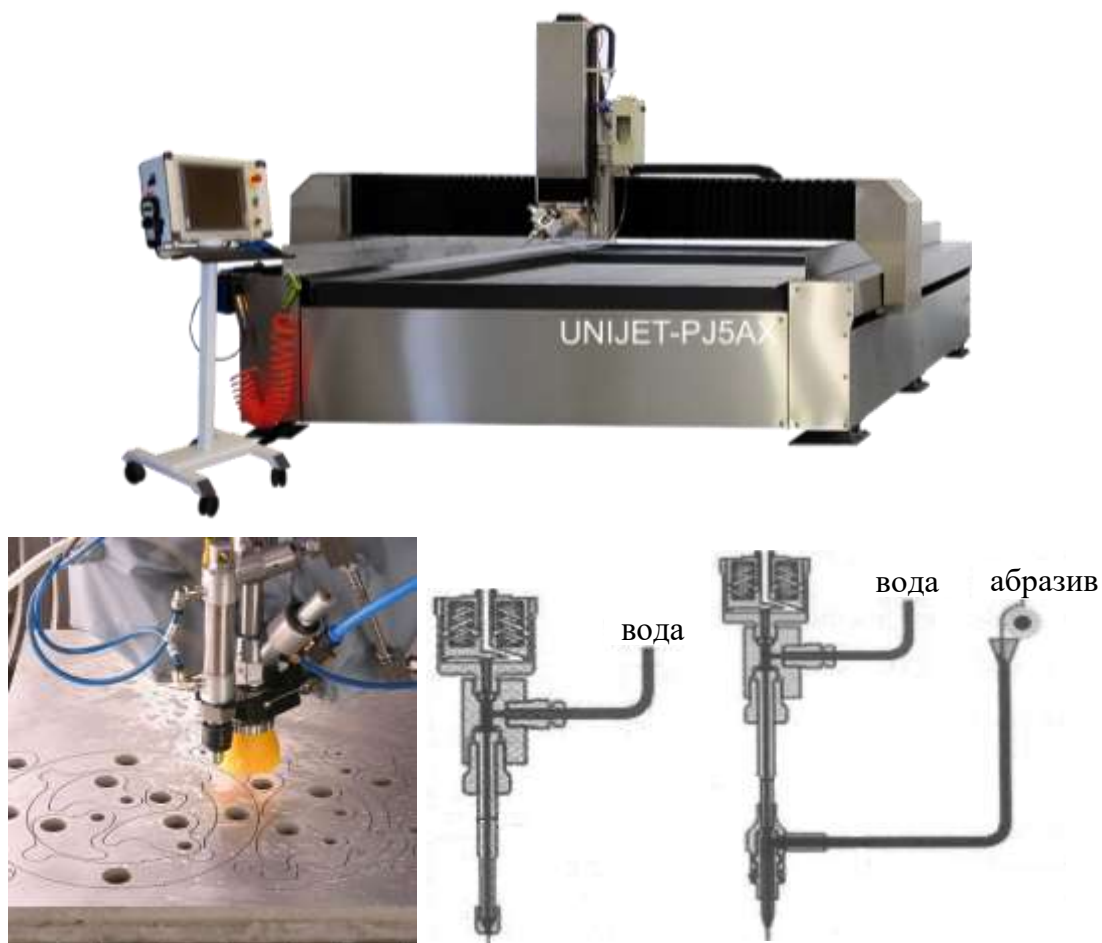


Рисунок 17.1 – Загальний вигляд установки та суть гідро- та гідроабразивного різання

Гідроабразивне різання – альтернатива не тільки механічного, але і лазерного, плазмового, ультразвукового різання. Струмień рідини по своїм технічним можливостях наближається до ідеального точкового інструменту, що дозволяє обробляти складний профіль з будь-яким радіусом закруглення. Ширина різку складає 0,1...3,0 мм, відхід матеріалу в стружку менший, ніж при традиційних методах обробки, різання можна починати в будь-якій точці заготовки і при цьому не потрібно заздалегідь виконувати отвір. Лінія розрізу може бути будь-якої кривизни, мати гострі кути і круті повороти. Невелика

сила (1...100 Н) і температура (+60...90 С°) в зоні різання виключають деформацію заготовки, оплавлення і пригорання матеріалу в прилеглій зоні. Струмнь не змінює фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу. Для досягнення потрібної якості різання, відстань між форсункою і заготовкою має бути постійною і складати 2...4 мм.

За допомогою водоструминного різання (гідроабразивне різання і гідрорізання) можуть оброблятися практично всі матеріали: папір, тканини, шкіра і гума, скло, кераміка, граніт, мармур, бетон, всі види полімерних матеріалів, металів і сплавів, включаючи важкооброблювані – нержавіючі і жароміцні сталі, тверді і титанові сплави.

Найбільше застосування гідроабразивне і гідрорізання знаходять у автомобільній промисловості (вирізання панелей приладів, бамперів та інших пластикових деталей, композиційне скло, армоване скло, оргскло, листовий прокат, шестерні, компоненти з високоякісної сталі, міді, алюмінію, титану і корозієстійких металів); авіабудівна (сплави алюмінію, титану, на хромо-нікель-кобальтовій основі, а також композитні матеріали); оборонна (утилізація корпусів ракет, бойової техніки, судів і підводних човнів, корпусів снарядів і вимивання вибухових речовин).

Основні переваги:

- низька температура в зоні різання (жодна технологія, не може забезпечити відсутність термічного впливу на метал поблизу пропилю);
- універсальність обробки (можливість порізки на одній установці різноманітних матеріалів, обробки достатньо великих деталей (до 18 м і більше);
- здатність відтворювати складні контури і профілі (обробка може здійснюватися в будь-яких напрямках, по лінії будь-якої кривизни і складності);
- висока якість поверхні (можна отримувати поверхню з шорсткістю Ra 0,5-1,5 мкм);
- технологічність процесу (інструмент не потребує переточування; ударне навантаження на виріб мінімальне; низьке тангенціальне зусилля на деталь дозволяє у ряді випадків обійтися без затискних пристроїв; можливість виконання різних операцій (наприклад, свердління і різання) одним і тим же інструментом);
- економічність процесу (потреба у рідині 3...4 л/хв.);
- можливість автоматизації процесу;
- доступність і дешевизна розхідного матеріалу (вода, кварцовий пісок);
- безпека процесу (оскільки немає накопичення тепла то процес вибухо- і пожежобезпечний. Це дозволяє різати вибухові речовини, нафто- і газомістовні ємкості і трубопроводи і т.п.; відсутність пилу; низький рівень шуму).

До недоліків гідрорізання відносяться: конструктивні труднощі, що виникають при створенні високого тиску рідини, невисока стійкість сопла і складність його виготовлення.



## 17.2 Технології лазерної обробки матеріалів

Лазерне різання – найпоширеніший вид лазерної обробки. У процесі лазерного різання відбувається плавлення або випаровування матеріалу та видалення продуктів процесу із зони різання продувкою киснем, повітрям, азотом або іншим технологічним газом. Лазерне різання сталевих листів товщиною до 6 мм по складному контуру є найбільш поширеним технологічним процесом лазерної обробки. Виготовляють даним способом прокладки, кронштейни, панелі, щитки, двері, декоративні ґрати, дискові пилки. На даний час розвивається різання просторових виробів, у тому числі з використанням роботів-маніпуляторів. Основні переваги: висока якість технологічного процесу, швидкість, гнучкість, мінімальні витрати матеріалу (діаметр «ріжучого інструменту» 0,1...0,2 мм). При різанні лазером відпадає необхідність механічного закріплення заготовки зважаючи на відсутність динамічних або статичних впливів, різання здійснюється сфокусованим випромінюванням. Точність обробки  $\pm 0,05$  мм. Можливість обробки профільного матеріалу (труби, балки), а також автоматизації процесу. Рідкий метал і оксиди видаляються струменем газу під високим тиском, очищаючи різ, що дає можливість отримати якісні кромки (ефективно запобігає утворенню задирок, а також прилипання шлаків до кромки різ). Крім цього, газ, що використовується, підтримує горіння металу, істотно збільшуючи цим швидкість різ та інтенсивно охолоджує прилеглі до зони різ ділянки металу.

Недолік: низький ККД лазера (обмеження товщини матеріалу, наприклад метал – до 20 мм).

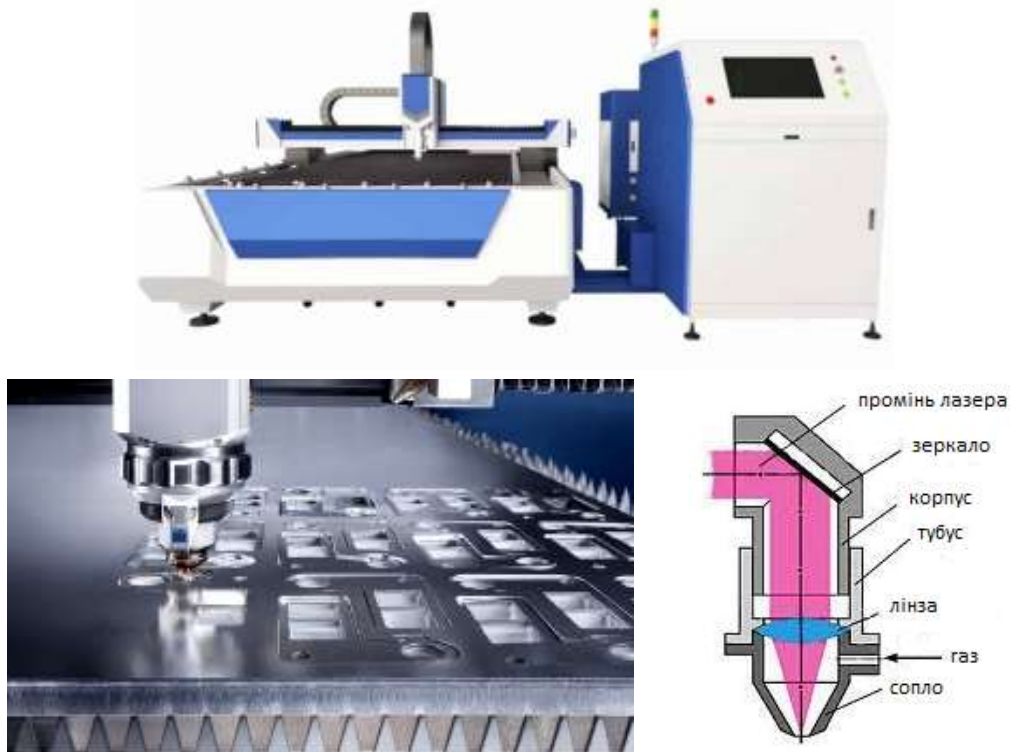


Рисунок 17.2 – Загальний вигляд установки для лазерного різання та суть процесу

Лазерне випромінювання може ефективно використовуватися для розкрою неметалевих матеріалів: оргскла товщиною до 50 мм, фторопласту до 30 мм, склотекстоліту, гетинаксу, поліетилену, полівінілхлориду до 2 мм, асбестоцементу, базальтових тканин, шкіри, картону для упаковки, кераміки, килимів і текстилю. Розроблено економічні методи різання і терморозколювання скла, в тому числі і по складному контуру.

Серед розробок нових процесів обробки значне місце займають комбіновані методи обробки, де вплив лазерного випромінювання поєднаний з іншими технологічними процесами. Так, використання лазерного променя спільно з електричною дугою, плазмовим струменем або газовим пальником дозволяє в кілька разів підвищити ефективність впливу, тобто збільшити товщину зварювання, різання або зміцнюваного шару. Застосування лазерного випромінювання при механічній обробці металів і сплавів дозволяє підняти продуктивність в кілька разів, поліпшити якість обробки. Застосування пластичного деформування сплавів перед або після обробки лазером дозволяє отримати нові властивості поверхні. Інтенсивно розвиваються методи лазерної обробки тонкостінних листових матеріалів для формування об'ємних конструкцій внаслідок спрямованого деформування.

### **17.3 Плазмова обробка матеріалів заготовок**

Під плазмою мається на увазі високотемпературний сильно іонізований газ, що складається з молекул, атомів, іонів, електронів, квантів світла тощо.

Плазмова обробка – це вид електрофізичної обробки матеріалів низькотемпературною плазмою, яка генерується дуговими (оброблення плазмовою дугою) або високочастотними (оброблення плазмовим струменем) плазмотронами.

При дуговій іонізації газ пропускають через канал і створюють дуговий розряд, тепловий вплив якого іонізує газ, а електричне поле створює спрямований плазмовий струмінь. Газ може іонізуватись також під дією електричного поля високої частоти. Газ подається під тиском у 2...3 атм., у його середовищі збуджується електрична дуга силою струму 400...500 А та напругою 120...160 В. Іонізований газ досягає температури 10...18 тис. °С, а швидкість потоку – до 15000 м/с. Плазмовий струмінь утворюється у спеціальних пальниках – плазмотронах. Катодом у цьому випадку є неплавкий вольфрамовий електрод.

При плазмовій обробці змінюється форма, розміри, структура оброблюваного матеріалу або стан його поверхні. Плазмова обробка включає: роздільне і поверхневе різання, нанесення покриттів, наплавлення, зварювання, а також плазмово-дугове «стругання» і рафінування (оплавлення).

Плазмове різання металу – вискоефективний, продуктивний і перспективний спосіб обробки металопродукату, який базується на локальному розплавленні металу і видуванні рідкого металу потоком плазмоутворюючого газу. Розплавлення металу здійснюється спільним

впливом електричної дуги між плазмотроном і оброблюваною деталлю в потоці плазми.

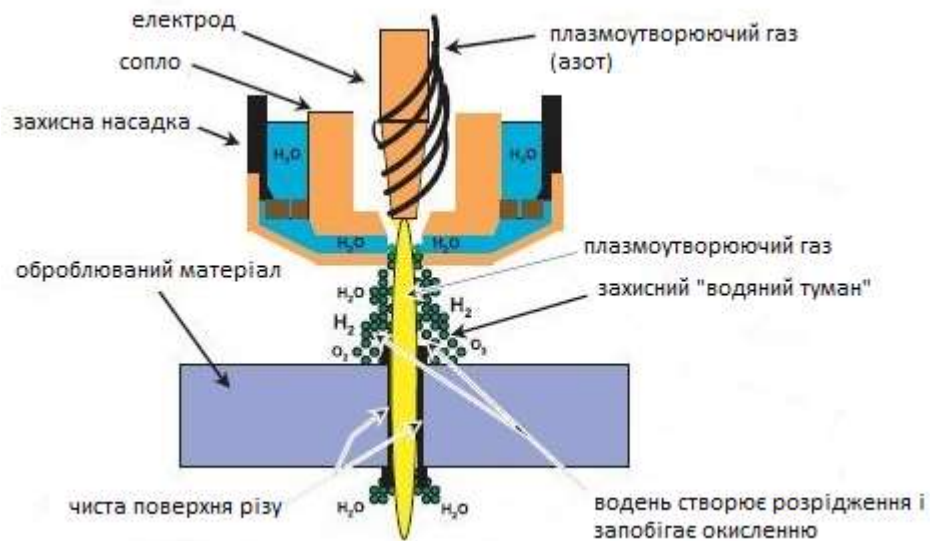


Рисунок 17.3 – Загальний вигляд установки для плазмового різання та суть процесу

Це найефективніша технологія отримання металовиробів для машинобудування. За допомогою плазмового різання можна виготовити металеві конструкції будь-якого призначення і складності. Плазмова різка металу має свої особливості та переваги в порівнянні з газокисневою та лазерною різкою:

- висока швидкість обробки металів;
- відсутність деформаційних напливів на обробленій поверхні різку;
- можливість обробки чорних і кольорових металів, їх сплавів;
- не потрібна додаткова обробка готового виробу;
- можливість вирізання будь-яких геометричних форм і фігур;
- висока точність різку ( $\pm 0,25$  мм) і співвісність отворів (не більше  $\pm 0,1$  мм);
- висока повторюваність виробів;
- мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище;
- немає обмежень по товщині металу (на відміну від лазерного різання).

Різання плазмою дозволяє обробляти прокат чорних і кольорових металів і сплавів товщиною більше 100 мм, але обробку матеріалу товщиною більше 30 мм економічно вигідніше проводити газовим різанням. Плазмове різання дозволяє отримати точні деталі, які не потребують подальшої обробки. Наприклад, непотрібно додатково обробляти кромки деталей для подальшого зварювання. Висока продуктивність плазмового різання дозволяє застосовувати її в потокових безперервних виробничих процесах. Потужність установок досягає 150 кВт.

#### **17.4 Імпульсне різання**

Технологічний процес здійснюється на машинах імпульсної різки (МІР). Процес різання базується на використанні кінетичної енергії, накопиченої в процесі розгону масивними пересувними частинами ріжучого агрегату і здійснюється закріпленням на них інструментом – ножами. Розгін рухомих частин здійснює тепловий привід, що працює на суміші газоподібного вуглеводневого палива з повітрям. Зусилля різання замикається в силовому корпусі ріжучого агрегату, і не впливає на фундаменти і суміжне устаткування.

Процес різання здійснюється без відходів двостороннім синхронним втискуванням у матеріал заготовки ножів, що рухаються назустріч один одному зі значною (до 25...30 м/с) початковою швидкістю, у площині, перпендикулярній поздовжній осі розрізуваної заготовки. Час контакту ножів з гарячим металом становить від 0,02 до 0,1 с. Це сприятливо впливає на стійкість інструменту і не обмежує швидкість руху заготовки. Ножі МІР являють собою плоскі або клиновидні пластини з ріжучою крайкою, заточеною клиноподібно з кутом при вершині  $80^\circ$  і радіусом заокруглення від 0,3 до 0,5 мм. Кут між бічними гранями ножа становить від  $20^\circ$  до  $26^\circ$ .

Метод розроблений науковцями Харківського авіаційного інституту. На даний час розроблено елементи САПР теплового приводу, що дають можливість без інтегрування початкових диференціальних рівнянь

установлювати залежності енергосилових характеристик проектованого приводу від геометричних і інших параметрів, включаючи параметри замикаючо-перепускного пристрою й особливості енергоносія. Створено технологію і устаткування для здійснення роздільних операцій у вигляді ріжучих агрегатів технологічних ліній машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) усіх сучасних криволінійних і горизонтальних типів замість газополуменевих і механогідравлічних механізмів у порівнянні з якими МІР мають значні економічні й експлуатаційні переваги.

У порівнянні з газополуменевими способами різання МІР ефективніше в 3...5 разів, з механогідравлічними – 1,7...2,5 рази. При збільшенні швидкості витягування на МБЛЗ більш 3 м/хв. у МІР немає конкурентів.

Дану технологію і устаткування доцільно використовувати на підприємствах чорної металургії, а також у машинобудівній галузі для виконання заготівельних операцій, відрізання дефективних кінців заготовок, добору проб, кування, штампування, відділення головних і донних частин зливків із виливниць перед обтисненням тощо.

### **17.5 Технологія кріогенного різання**

Кріогенне різання полягає у різанні матеріалу струменем рідкого азоту, який випускається із спеціального сопла з надзвуковою швидкістю та високим тиском, після розрізання лезо просто розчиняється у повітрі. Це сучасна технологія, яка дозволяє розрізати над товсті та надміцні матеріали, які неможливо обробляти іншими способами. Кріогенне різання є конкурентом для таких високотехнологічних способів різання як лазерне, плазмове та гідро абразивне. Дана технологія була розроблена у 90-х роках у Національній інженерній академії (США).

Принцип дії полягає в тому, що струмінь рідкого азоту розрізає метал за рахунок проникнення в його пори і тріщини з наступним швидким розширенням і в результаті матеріал розривається із середини. Ефективність процесу залежить від тиску (від 40 до 400 МПа), температури (від – 150 °С до – 170 °С) і відстані до виробу. Причому при низькому тиску струмінь азоту досконало очищує стійкі забруднення навіть з крихких поверхонь. Також кріогенний ніж не створює відходів та забруднень.

Переваги кріогенного різання:

- різання практично всіх металів та матеріалів;
- висока швидкість різання;
- практично необмежена товщина матеріалу;
- висока якість зрізу;
- відносна безпека процесу.

До недоліків відносять передусім високу вартість обладнання і той факт, що у випадку різання тривалістю більше 5...6 с. тонкий метал може просто розсипатися від охолодження до наднизьких температур.

## 18 ВАРТІСТЬ ЗАГОТОВОК, СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ

### 18.1 Техніко-економічне обґрунтування способу виготовлення заготовки

При виборі методу отримання заготовки можливі випадки, що спосіб виготовлення заготовки заданий технологією виробництва деталі; спосіб її отримання не призводить до значних змін технологічного процесу механічної обробки заготовки; можливий спосіб отримання заготовки спричинить суттєві зміни технології її обробки. Відповідно для першого випадку жодного техніко-економічного обґрунтування проводити не потрібно, для другого його виконують, виходячи з умов мінімізації вартості заготовки та максимального коефіцієнта використання матеріалу, для третього – керуючись мінімальною вартістю з урахуванням коефіцієнтів, які враховують клас точності, групу складності, масу, марку матеріалу і об'єму виробництва.

Для цього можна застосовувати формулу

$$C_B = \frac{1}{1000} \cdot [C_{BB} \cdot M_3 \cdot K_T \cdot K_{KTC} \cdot K_M \cdot K_{BM} \cdot K_{TC} - (M_3 - M_D) \cdot C_{BX}],$$

де  $C_{BB}$  – базова вартість однієї тонни заготовок, грн.;

$M_3$  – маса заготовки, кг;

$K_T$  – коефіцієнт точності розмірів заготовки;

$K_{KTC}$  – коефіцієнт конструктивно-технологічної складності заготовки;

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує марку матеріалу заготовки;

$K_{BM}$  – коефіцієнт, що враховує програму річного випуску та масу заготовки;

$K_{TC}$  – коефіцієнт зменшення товщини стінок відносно базової товщини;

$M_D$  – маса деталі, кг;

$C_{BX}$  – вартість однієї тонни відходів, грн.

Із можливих варіантів отримання заготовки приймається той, який після розрахунку собівартості виявиться більш дешевшим. Щодо груп складності то:

I група – подовжені деталі типу тіл обертання, до яких відносяться втулки, фланці, гільзи, труби, циліндри, деякі типи шпинделів, колінчасті і розподільні вали та ін.;

II група – деталі типу дисків, а саме шківів, диски, корпуси підшипників;

III група – прості по конфігурації коробчасті деталі. А саме кришки, кронштейни; планки; вилки; важелі;

IV група – закриті корпусні деталі коробчастого типу, усередині яких монтується механізми машин. Це блоки і головки циліндрів двигунів, корпуси коробок передач, картери двигунів, корпуси мостів автомобілів і тракторів.

V група – великі і важкі коробчасті деталі, на яких зазвичай монтується вузли і механізми машин. До них можна віднести коробчасті литі рами тракторів і сільськогосподарських машин, станини металорізальних верстатів, пресів, компресорів та інших машин.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок : підручник / Л. І. Боженко. – Львів : Світ, 1996. – 368 с.
2. Бялік О. М. Металознавство : підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. – Київ : Політехніка, 2018. – 384 с.
3. Гевко Б. М. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових заготовок деталей машин : / Б. М. Гевко, М. І. Пилипець, В. В. Васильків та ін. – Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2009. – 457 с.
4. Гущин О. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : посібник / О. В. Гущин. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – 159 с.
5. Добрянський С. С. Проектування та виробництво заготовок : підручник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв, Є. С. Пуховський. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014 – 353 с.
6. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навч. посібник / Ж. П. Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський, С. В. Дусанюк. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 199 с.
7. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування : навч. посібник / Ж. П. Дусанюк, І. О. Сивак, С. В. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – 106 с.
8. Клименко В. М. Технологія конструкційних матеріалів / Частина друга. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво : / навч. посібник. – Вінниця : Універсум, 2005. – 154 с.
9. Методичні вказівки до лабораторних занять для студентів спеціальності 131«Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія». Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин / М. І. Пилипець, Р. В. Комар. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – 58 с.
10. Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Технології та устаткування машинобудівних виробництв», розділу «Виробництво заготовок» для студентів освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітніх програм «Інжиніринг технологій машинобудування та зварювання» і «Прикладна механіка» / Укладачі : Комар Р. В., Сенчишин В. С. – Тернопіль : 2021. – 60 с.
11. Поліщук В. А. Проектування заготовок у машинобудуванні : навч. посібник. / В. А. Поліщук. – Миколаїв : НУК, 2017. – 274 с.
12. Руденко П. О. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин : підручник / П. О. Руденко, Ю. О. Харламов, О. Г. Шустик. – Київ : ІСДО, 1993. – 304 с.
13. Соловйов С. М. Практикум з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей машин» : навч. посібник / С. М. Соловйов, М. М. Івахненко, О. П. Шумілов та ін. – Миколаїв : НУК, 2006. – 172 с.
14. Сологуб М. А. Технологія конструкційних матеріалів: підручник / М. А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін. – 2-ге вид., перероб. і допов. – Київ : Вища школа, 2002.– 374 с.

## ВИКОРИСТОВУВАНІ СКОРОЧЕННЯ

ВЛ – відцентрове лиття  
ВН – вихрове напилення  
ВПФ – вакуумно-плівкова форма  
ВТ – лиття під високим тиском  
ГВМ – горизонтально-вигинальна машина  
ГДСК – гама дефектоскопічний контроль  
ГКМ – горизонтально-кувальна машина  
ЕВМ – електро-висаджувальна машина  
ЄСКД – єдина система конструкторської документації  
ЗЗ – зварні заготовки  
КГШП – кривошипний гарячештампувальний прес  
ККД – коефіцієнт корисної дії  
КМ – композитні матеріали  
МаСА – макроскопічний аналіз  
МБЛЗ – машини безперервного лиття заготовок  
МІР – машини імпульсної різки  
МіСА – мікроскопічний аналіз  
МН – меганьютон  
МПК – магніто-порошковий контроль  
МРВ – металорізальний верстат  
МФ – металеві форми (кокіль)  
НСФ – лиття у напівсталі форми  
НТ – лиття під низьким тиском  
ОМТ – обробка матеріалів (металів) тиском  
ОФ – оболонкова форма  
ПГФ – піщано-глиняна форма  
ПЗ – порошкові заготовки  
РДКМ – радіально-кувальна машина  
РДСК – рентгенодефектоскопічний контроль  
РКМ – ротаційно-кувальна машина  
САПР – система автоматизованого проєктування  
СЗ – складані заготовки  
ТП – технологічний процес  
УЗК – ультразвуковий контроль  
ЧПК – числове програмне керування