

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

**С. В. Марченко, А. Ф. Будник, В. Б. Юскаєв**

**ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА МАТЕРІАЛІВ  
ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ОБ'ЄКТІВ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України



Суми  
Сумський державний університет  
2013

УДК [669+621.7](075.8)  
ББК 30.3  
М30

Рецензенти:

*О. Р. Якуба* – доктор технічних наук, професор Сумського національного аграрного університету;  
*В. М. Радзієвський* – доктор технічних наук, професор, головний редактор журналу «Компрессорное и энергетическое машиностроение»;  
*В. Б. Тарельник* – доктор технічних наук, професор Сумського національного аграрного університету

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів  
(лист № 1/11-8568 від 20.05.2013 р.)*

**Марченко С. В.**

М30 Основи виробництва матеріалів та формоутворення об'єктів технологій : навч. посіб. / С. В. Марченко, А. Ф. Будник, В. Б. Юскаєв. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 232 с.

ISBN 978-966-657-501-5

У посібнику наведена стисла інформація про основні технологічні процеси отримання матеріалів і виробництво об'єктів технологій. Розглянуто технології металургійного отримання матеріалів, отримання заготовок – об'єктів технологій литтям, обробкою тиском. Надано короткі відомості про технологічні процеси з'єднання зварюванням, паянням, механічну обробку заготовок. Проаналізовано технології неметалевих та композиційних конструкційних матеріалів.

У посібнику наведені вказівки для самостійної роботи з розроблення спрощеного технологічного процесу отримання та механічної обробки заготовок типових деталей.

Посібник містить завдання для самостійної та курсової роботи.

УДК [669+621.7](075.8)

ББК 30.3

© Марченко С. В., Будник А. Ф.,  
Юскаєв В. Б., 2013

ISBN 978-966-657-501-5

© Сумський державний університет, 2013

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1. Властивості конструкційних матеріалів.....	6
1.1. Основні етапи виготовлення машин.....	6
1.2. Властивості металів та сплавів, що використовуються в машинобудуванні.....	8
1.3. Атомно-кристалічна будова металів.....	12
2. Технологія металургійного виробництва.....	18
2.1. Вхідні матеріали для виробництва чавуну.....	19
2.2. Технологія прямого відновлення заліза з руд (безпопова металургія).....	26
2.3. Металургія кольорових металів.....	32
2.4. Порошкова металургія.....	34
3. Основи технології ливарного виробництва.....	38
3.1. Основні ливарні властивості сплавів.....	39
3.2. Плавлення сплавів перед заливанням у форму.....	45
3.3. Технологія отримання виливків.....	47
3.4. Спеціальні способи лиття.....	51
4. Технологія обробки тиском.....	61
4.1. Загальна характеристика обробки металів тиском (ОМТ).....	61
4.2. Вплив факторів на процеси деформування і руйнування металів.....	64
4.3. Температурно-швидкісні умови пластичного деформування.....	66
4.4. Вплив обробки тиском на макроструктуру і властивості виробу.....	69
4.5. Характеристика прокатного виробництва. Схеми прокатування.....	73
4.6. Технологія виробництва основних видів прокату.....	76
4.7. Технологія отримання виробів пресуванням.....	82
5. Основні технології зварювального виробництва.....	96
5.1. Фізичні основи одержання зварювального з'єднання.....	96
5.1.1. Термічний клас зварювання.....	97
5.1.2. Термомеханічний клас зварювання.....	112
5.1.3. Механічний клас зварювання.....	115
5.2. Особливості зварювання металів і сплавів.....	117
5.3. Наплавлення та напилювання.....	120
5.4. Паяння металів і сплавів.....	122
5.5. Контроль якості зварних з'єднань.....	122
6. Технологія механічної обробки заготовок.....	125

6.1. Термінологія і визначення загальних понять.....	125
6.2. Параметри та фізичні явища, що супроводжують процес різання.....	127
6.3. Інструментальні матеріали.....	133
6.4. Обробка абразивним інструментом.....	141
6.5. Технологія чистової обробки поверхонь заготовок.....	144
6.6. Електрофізична та електрохімічна обробка.....	146
6.7. Зміцнювальна обробка пластичним деформуванням...	149
7. Технологія неметалевих та композиційних конструкційних матеріалів.....	152
7.1. Загальні відомості про полімерні матеріали.....	152
7.2. Класифікація пластмас.....	153
7.3. Газонаповнені полімерні матеріали.....	161
7.4. Переробка термопластичних пластмас.....	162
7.5. Композиційні матеріали.....	165
7.6. Технологія обробки пластмас різанням.....	171
7.7. Зварювання термопластичних пластмас.....	171
7.8. Склеювання пластмас.....	173
7.9. Покриття пластмасами.....	174
7.10. Лакофарбові покриття.....	175
8. Курсова робота. Теоретичні засади. Завдання. Приклад виконання.....	179
8.1. Теоретичні засади.....	179
8.1.1. Основні принципи методу отримання заготовки.....	179
8.1.2. Чинники, що визначають вибір методу отримання заготовки.....	183
8.2. Застосовність методів отримання заготовки для типових деталей.....	187
8.2.1. Отримання заготовок корпусних деталей.....	187
8.2.2. Заготовки для валів.....	190
8.2.3. Заготовки зубчастих коліс.....	191
8.2.4. Заготовки деталей типу важелів, шатунів, вилок, профільних стержнів і т. п.....	193
8.2.5. Заготовки дрібних і кріпильних деталей.....	193
8.3. Приклад виконання завдання курсової роботи «Складання технологічного процесу отримання та обробки заготовки».....	194
8.3.1. Вимоги до виконання.....	194
8.3.2. Приклад розв'язання завдання «Складання технологічного процесу отримання та обробки заготовки».....	195
Список рекомендованої літератури.....	197
Додаток А.....	199
Додаток Б.....	218

## ВСТУП

Технологія матеріалів, їх отримання та обробка, належить до базових навчальних дисциплін спеціальностей на пряму «Інженерне матеріалознавство». Це пов'язано насамперед з тим, що технологія отримання будь-якої деталі повинна мати чіткий взаємозв'язок між послідовними технологічними процесами задля отримання найвищих механічних, експлуатаційних властивостей. Будь-який зі способів отримання, обробки матеріалів, заготовки накладає певну особливість у технології обробки такої заготовки.

У посібнику подані основні технологічні процеси: металургійне, ливарне виробництво, обробка тиском, різанням, зварювання і паяння, технологія неметалевих та композиційних конструкційних матеріалів.

# 1. ВЛАСТИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Основною метою дисципліни «Технологія виробництва та обробки матеріалів» є підготовка студентів до проектування технологічних конструкцій деталей машин. Для досягнення поставленої мети на основі вивчення фізико-механічних основ технологічних методів отримання заготовок і їх обробки повинні вміти:

- обирати раціональні технологічні методи формоутворення заготовок і їх механічної обробки;
- розробляти креслення технологічних заготовок з урахуванням вибраних процесів їх виготовлення і механічної обробки;
- вносити зміни в конструкцію деталей, що забезпечують підвищення їх технологічності.

## 1.1. Основні етапи виготовлення машин

*1-й етап. Отримання матеріалу* для виготовлення заготовок. Матеріал для виготовлення заготовок деталей машин отримують за технологією, що залежить від

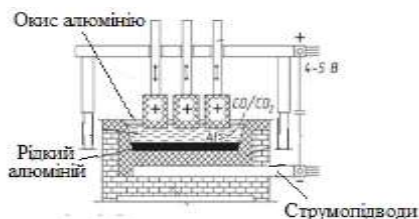


Рисунок 1.1 – Схема електролізної ванни для отримання алюмінію

його природи. Так, чорні метали отримують у металургійний спосіб, відновлюючи їх із залізних руд, алюміній – електролітичним відновленням з оксиду алюмінію тощо.

*2-й етап. Виготовлення заготовок.* Заготовка – це напівфабрикат, що за формою і розмірами близький до деталі. Заготовка більша від деталі на величину певного шару металу (припуску), щоб після механічної обробки набути потрібної точності та шорсткості поверхні.



Рисунок 1.2 – Лита заготовка поршня

Способи отримання заготовки:

- лиття – отримання заготовок шляхом заливання розплавленого металу заданого хімічного складу в ливарну форму, порожнина якої має конфігурацію заготовки.



Рисунок 1.3 – Механічно оброблена заготовка поршня

логічний процес отримання нерознімних з'єднань із металів і сплавів унаслідок утворення атомно-молекулярних зв'язків між частинками заготовок, що з'єднуються.

*3-й етап. Обробка заготовок.* Для обробки заготовок найчастіше застосовують механічну обробку різанням, обробку пластичним деформуванням, електрофізичні та електрохімічні способи обробки, за необхідності – термічну і хіміко-термічну обробку.

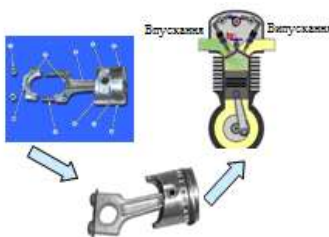


Рисунок 1.4 – Складений шатуно-поршневий вузол, двигун

4-й етап. Складання вузлів і машин – заключний етап у виробництві машин, складені деталі з'єднуються між собою у вузли, а вузли з'єднуються у машини.

## 1.2. Властивості металів та сплавів, що використовуються в машинобудуванні

Конструкційні матеріали (КМ) – це матеріали, з яких виготовляються деталі конструкцій (машин і споруд), що сприймають силове навантаження. Визначальними параметрами конструкційних матеріалів є механічні властивості, що відрізняє їх від інших технічних матеріалів (оптичних, ізоляційних, мастильних, лакофарбових, декоративних, абразивних та ін.).

Конструкційні матеріали поділяють на групи: металеві, неметалеві та композиційні й порошкові.



Рисунок 1.5 – Класифікація конструкційних матеріалів



Основою конструкційних матеріалів є металеві сплави на основі заліза (чавуни та сталі), міді (бронзи та латуні), алюмінію, титану.

*Основні види обробки конструкційних матеріалів під час виготовлення деталей:*

- лиття;
- обробка тиском;
- зварювання;
- обробка різанням.

*Основні способи обробки матеріалів для надання їм потрібних властивостей:*

- термічна обробка (температурна);
- механічна;
- термомеханічна;
- термохімічна.

### **Основні фізичні, механічні, експлуатаційні та технологічні властивості металів**

*Механічні властивості:*

- твердість;
- пластичність;
- ударна в'язкість;
- межа витривалості тощо.

*Фізичні властивості:*

- температура плавлення;
- щільність;
- коефіцієнти лінійного та об'ємного розширення;
- електропровідність і теплопровідність.

*Хімічні властивості:*

- хімічна активність;
- здатність до хімічної взаємодії;



*Твердість* – опір матеріалу місцевій пластичній деформації, при вдавлюванні в нього твердішого тіла – індентора. Методи [HRC, HB, HV];

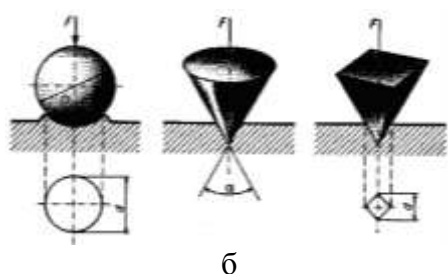


Рисунок 1.7 – Визначення твердості: а – за Брінеллем; б – за Роквеллом; в – за Віккерсом



Рисунок 1.8 – Зразок для визначення ударної в'язкості

*Ударна в'язкість* – відношення роботи до площі поперечного перерізу в місці надрізу. Вимірюється в [Дж/м<sup>2</sup>].

*Межа витривалості* матеріалу визначається шляхом випробування ідентичних зразків при різних значеннях  $\sigma_{\max}$  і реєстрації кількості циклів, при якому відбувається руйнування кожного зразка.



Рисунок 1.9 – Схема випробування на витривалість



Більшість металевих матеріалів – сплави, що складаються із двох, трьох або більшої кількості речовин (залізо, леговане вуглецем – сплав “сталь”, “чавун”). Металеві сплави отримують сплавленням (іноді спіканням) металів з металами. Властивості сплавів значно відрізняються від властивостей чистих металів.

Наприклад, чисте залізо має межу міцності близько 150 МПа, а сплави на його основі – понад 2000 МПа.

Fe та Ni – метали феромагнітні, а сплав Fe<sub>3</sub> 25 % Ni не має цієї властивості. Сплав, що складається з 50 % Bi, 25 % Pd, 12,5 % Sn і 12,5 % Cd, плавиться при температурі 68 °С, тоді як найбільш легкоплавкий із його компонентів – Sn – має температуру плавлення 232 °С.

Сплави містять основний і легувальні компоненти. Сплави можуть утворювати подвійні (бінарні), потрійні та багатокомпонентні системи шляхом утворення механічних сумішей, твердих розчинів, хімічних сполук.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика властивостей металів та сплавів на їх основі

Метал, сплав	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{\text{в}}$ , МН/м <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ, МН/м <sup>2</sup>
Залізо 99,99	7,57	250-300	50	800-900
Сталь 30	7,8	500-550	15-20	1200
Високоміцні сталі	7,8	1600-2400	7-20	2400-3800
Алюміній	2,7	50-120	10-25	2500-3000
Сплави алюмінію	2,55-2,80	150-600	2-8	550-100
Титан	4,5	300-750	20-40	1800-2800
Сплави титану	4,5	1600-1700	15-20	150-200

Істотно впливає на властивості металів і сплавів швидкість їх охолодження (ступінь переохолодження) з певних температур.

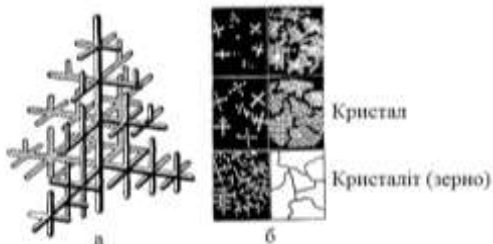


Рисунок 1.12 – Дендрит (а) і схема формування зерен під час твердіння металу (б)

### Залізовуглецеві сплави

Залізовуглецеві сплави бувають:

- сталі (вміст вуглецю в залізі до 2,14 %);
- чавуни (більше 2,14 % до 6,67 %).

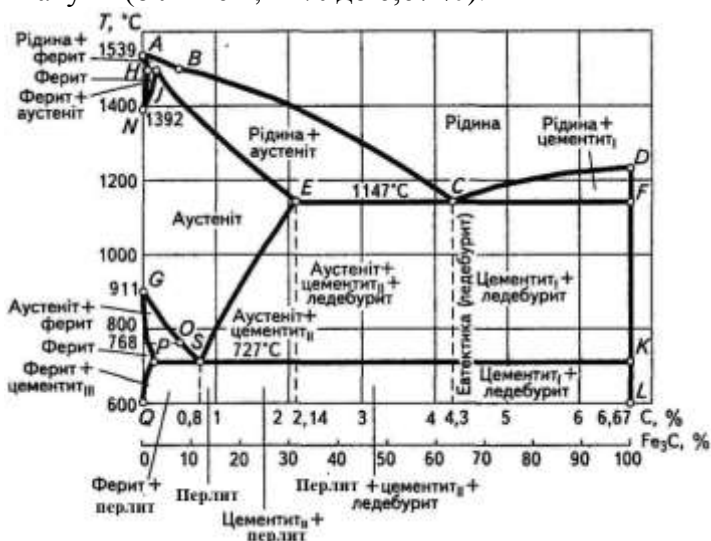


Рисунок 1.13 – Діаграма стану залізо-вуглець (залізо-карбід заліза (цементит))

Fe – залізо – блискучий світло-сірий метал, щільність – 7,87 кг/дм<sup>3</sup>, температура плавлення – 1539 °С, твердість НВ 60-90.

### *Структурні складові діаграми:*

- Вуглець (С) – може знаходитися в хімічно зв'язаному або вільному стані (гексагональна решітка).
- Ферит (Ф) – твердий розчин проникнення вуглецю в  $\alpha$ -залізі, має ОЦГ, максимальна розчинність при 727 °С вуглецю становить 0,02 % С. Твердість НВ 80-100, висока пластичність.
- Аустеніт (А) – твердий розчин проникнення вуглецю в  $\gamma$ -залізі, має кубічні гранецентровані решітки. Гранична розчинність вуглецю в  $\gamma$ -залізі при 1147 °С становить 2,14 %, НВ160.
- Цементит (Ц) – хімічна сполука заліза з вуглецем (карбід заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$ ), що містить 6,67 % С, температура плавлення – 1260 °С, має високу твердість НВ 1000. Є метастабільною фазою і за певних умов розпадається з виділенням вільного графіту.
- Перлит (П) – евтектоїдна механічна суміш фериту і цементиту, що містить 0,83 % С. Утворюється при 727 °С унаслідок розпаду аустеніту в процесі його охолодження. Перлит може бути пластинчастим або зернистим, що визначає його властивості. Міцність  $\sigma_{\text{в}} = 800$  МПа, НВ 160-200.
- Ледебурит (Л) – механічна суміш (евтектика) аустеніту й цементиту, що утворюється з рідкого розплаву при 1147 °С при вмісті 4,3 % С. Твердість НВ 600-700, крихкий.

### **Вплив домішок у залізовуглецевих сплавах**

*Вплив вуглецю.* Зі збільшенням вмісту вуглецю зростають твердість, міцність і зменшується пластичність.

*Вплив сірки.* Сірка є шкідливою домішкою. Вона утворює нерозчинне в залізі сірчисте  $\text{Fe}$  і легкоплавку евтектику, що викликає червоноламкість. Вміст сірки в

залізовуглецевих сплавах коливається в межах 0,035-0,06 % S.

*Вплив фосфору.* Фосфор розчиняється в  $\alpha$ - і  $\gamma$ -залізі, спотворює кристалічні решітки і погіршує пластичні властивості сплаву, що викликає холодноламкість. Вміст фосфору в залізовуглецевих сплавах коливається в межах 0,025...0,08 % P.

*Вплив азоту, кисню та водню.* Ці елементи є у сплавах або у вигляді неметалічних включень або у вільному стані, при цьому вони розташовуються в дефектних місцях у вигляді молекулярного й атомарного газів, що знижує міцність і пластичність. У деяких сталях азот є легувальним елементом

*Вплив кремнію.* Кремній, розчиняючись у фериті, підвищує межу текучості й знижує схильність до холодноламкості, отже, є корисною домішкою у певних межах.

*Вплив марганцю.* Марганець утворює твердий розчин із залізом і небагато підвищує твердість і міцність. За наявності сірки він частково сполучається із сіркою в сірчистий марганець і переходить у шлак.

Це сприяє видаленню сірки зі сплаву, тобто кремній і марганець є корисними домішками. У залізовуглецевих сплавах звичайно не більше 0,35-0,4 % Si та 0,5-0,8 Mn.

## Питання до розділу 1

1. ТВОМ – це наука про...?
2. Назвіть основні види обробки конструкційних матеріалів під час виготовлення деталей.
3. Назвіть основні способи обробки матеріалів для надання ним потрібних властивостей.
4. Назвіть основні етапи виготовлення машин.



5. Дайте визначення поняття «конструкційні матеріали»...
6. Металеві конструкційні матеріали поділяють на...
7. Чорні метали поділяють на...
8. Неметалеві матеріали поділяють на...
9. Який з конструкційних матеріалів мають здатність поєднання виняткових властивостей різних за природою матеріалів.
10. Перелічіть властивості матеріалів, що застосовуються як конструкційні.
11. Дайте визначення пластичності.
12. Дайте визначення твердості.
13. Дайте визначення ударній в'язкості.
14. Дайте визначення властивості «витривалість».
15. У якому агрегатному стані метали утворюють кристалічну решітку?
16. Що є у вузлах кристалічної решітки?
17. Чому більшість машинобудівних матеріалів – це сплави, а не чисті метали?
18. Що таке легувальний елемент у сплаві?
19. Який основний елемент додають до заліза для отримання сталей, чавунів?
20. Які елементи у сталях, чавунах вважаються шкідливими домішками в загальному випадку?

## 2. ТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Сталь переважно отримують за двоступінчастою схемою, що складається з доменної виплавки чавуна і різних способів його переробки на сталь.

1. При доменному плавленні з руди одержують *чавун* – сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором.

2. Переробку чавуна в сталь проводять у конвертерах, мартенівських та електричних печах. У цих агрегатах відбувається вибіркове окиснення домішок чавуну та перехід їх у шлак і газ.



Рисунок 2.1 – Структура металургійного виробництва

## 2.1. Вхідні матеріали для виробництва чавуну

Вхідні матеріали для виробництва чавуну: сировина (залізнi руди), паливо, флюси, вогнетривкі матеріали.

*Залізнi руди* – містять залізо у вигляді оксидів або солей. Зазвичай комплексні (є, крім заліза, ще хімічні сполуки, елементи):

- бурий залізняк (лимоніт);
- червоний залізняк (гематит);
- магнітний залізняк (магнетит);
- шпатовий залізняк (сидерит).

Порожня порода залізних руд містить кварц, кальцит,  $\text{CaCO}_3$ , глину, польові шпати, сульфiди тощо.

Підготовка сировини полягає в її збагаченні (щоб було не менше 55 % заліза) магнітним, гравітаційним способами і флотацією.

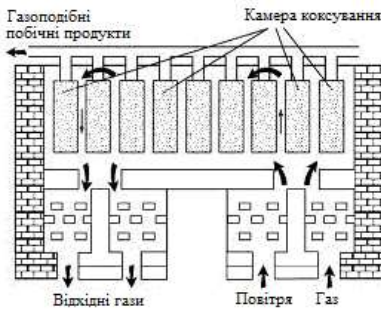


Рисунок 2.2 – Схема коксової печі

Руди перед використанням подрібнюють (30-80 мм), рудний пил спікають разом з коксом (агломерація).

*Флюси* – речовини, що сплавають пусту породу, золу палива, виводять шкідливі домішки. Застосовують із цією метою вапняк або доломіт.

*Паливо.* Основне паливо для доменних печей – кам'яновугільний кокс, який іще служить відновником. Вартість коксу становить 40-50 % собівартості чавуну. Кокс отримують у коксових печах спіканням у пористий продукт вугілля окремих сортів без доступу кисню при  $1000^{\circ}\text{C}$  протягом 15 годин. Містить кокс до 90 % С.

Лише 15 % коксу можна замінити іншими видами палива.

*Вогнетривкі матеріали* – використовуються для вогнетривкого футерування (облицювання) частин обладнання, що працюють за високих температур з контактом рідкого металу тощо. За хімічним складом є:

- кислі – на основі кремнезему  $\text{SiO}_2$ , (динасові, кварцеглинясті);
- основні – зі вмістом основних окислів  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  (магнезитові, доломітові);
- нейтральні – на основі  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (хромомagneзитові, шамотні).

*Шихта* – суміш вхідних матеріалів у певному співвідношенні. Завантажують шихту в доменну піч окремими порціями – колошами.

*Агломерат* – дрібна або пилоподібна руда, концентрат, інші матеріали, що спеклися в грудки (шматочки).

*Котуни* – продукт переробки дуже дрібних шматків корисних копалин у грудки.

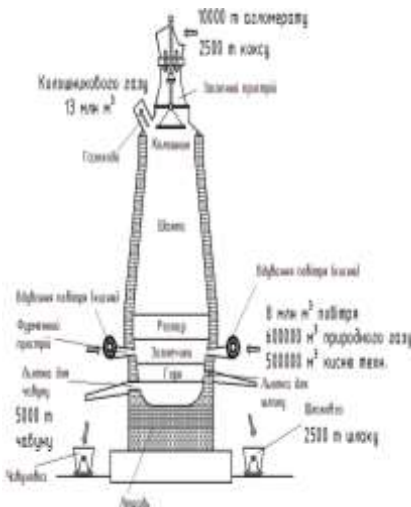


Рисунок 2.3 – Схема доменної печі об'ємом 2700 м<sup>3</sup> та її приблизний добовий баланс

## Виробництво чавуну в доменній печі

Доменна піч конструктивно виконана у вигляді шахтної.

Час безперервної роботи доменної печі називається компанією і становить 6-8 років.

Доменна піч працює за принципом зустрічних потоків: згори рухається

потік сировинних матеріалів, а знизу вгору – гази, утворені від згоряння палива.

### **Основні фізико-хімічні процеси, що проходять у доменній печі:**

1. Горіння палива.	У зоні фурм до 1800 °С
2. Відновлення заліза.	Оксидом вуглецю з оксидів заліза у верхній частині шахти при 400-500 °С – «губчасте залізо»
3. Відновлення домішок.	Відновлення кремнію (при 1450 °С). Відновлення марганцю (500-1450 °С). Відновлення сірки. Відновлення фосфору
4. Навуглецьовування заліза та утворення чавуну.	400-1200 °С – насичення губчастого заліза вуглецем – знижується його температура плавлення і переходить у рідкий стан, розчиняє відновлені домішки і стікає до горна доменної печі
5. Утворення шлаку.	З вапняку при температурі близько 900 °С утворюються оксид кальцію і діоксиду вуглецю. Шлак стікає до горна. Хімічний склад шлаку визначає якість виплавленого чавуну

### **Продукція доменного виробництва**

Продукція доменного виробництва: чавуни, доменні феросплави, шлак, доменний газ.

Чавун випускають із печі через кожні 3-4 години в спеціальні ковші. Залежно від хімічного складу, швидкості охолодження та інших чинників розрізняють:

*Переробний білий чавун* – для переробки на сталь, отримують при швидкому охолодженні. Вуглець перебуває у  $Fe_3C$  (цементит білого кольору), твердий, ни-

зької пластичності. Шляхом відпалювання одержують ковкий чавун.

*Ливарний (сірий) чавун* – одержують за повільного охолодження. Майже весь вуглець перебуває у вигляді графіту. Із сірого чавуну одержують модифікований (високоміцний).

*Доменні феросплави* мають підвищений вміст (більше як 10 %) одного або кількох елементів (Si, Mn та інших). Використовують феросплави для розкиснення сталі, її легування.

*Шлак* випускають із печі через кожні 1,5-2 години в спеціальні ковші-шлаковози. На 1 т чавуну утворюється 0,6 т шлаку.

*Доменний газ.* Доменного газу утворюється близько 3000 м<sup>3</sup> на 1 т чавуну. Після очищення використовується як паливо для нагрівання повітря в повітронагрівниках.

## Отримання сталі

Сталь – сплав заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, сіркою і фосфором, у якому вуглецю менше 2,14 %. Є вуглецеві та леговані сталі.

Основна відмінність від чавуну – немає вуглецю у вільному стані (графіт) – вуглець може бути розчиненим у залізі або утворювати хімічну сполуку із залізом Fe<sub>3</sub>C (цементит) або легувальними елементами (карбіди)

Для одержання сталі із чавуну видаляють надлишок вуглецю, кремнію, марганцю, сірки та фосфору шляхом окиснення.

Окиснювачем є елементарний кисень, що примусово додається ззовні, та кисень, розчинений у металі.

## *Вхідні матеріали для виробництва сталі:*

- переробний (рідкий або твердий) чавун (білий);
- скрап (сталевий та чавунний брухт, лом, стружка);
- металізовані котуни, руда, розкиснювачі, легувальні елементи;
- флюси, паливо.

Сталь отримують трьома способами: киснево-конвертерним, мартенівським, електрометалургійним.

### **Кисневий конвертер**

У ньому виплавляють з рідкого чавуну вуглецеві та низьколеговані сталі.

Сировина для виплавляння сталі:

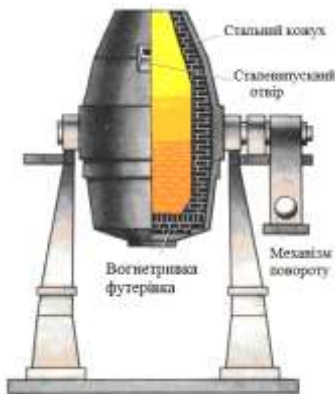


Рисунок 2.4 – Кисневий конвертер

- 1) *рідкий чавун;*
- 2) скрап (частково залізна руда), вапно, розкиснювачі, легувальні елементи.

Скрапу використовують 25-30 %.

Джерелом тепла є енергія хімічних реакцій окиснення домішок – для цього в рідкий чавун вдувають кисень через трубку (фурму).

Об'єм конвертерів становить 100-400 т.

Разом з іншими операціями плавлення триває 45-50 хв.

### **Мартенівська піч**

У мартенівській печі виплавляють вуглецеві та леговані сталі якісні й високоякісні з:

- твердого або рідкого чавуну;
- сталевий і чавунний скрап, залісної руди;
- окалини, феросплавів і флюсів.

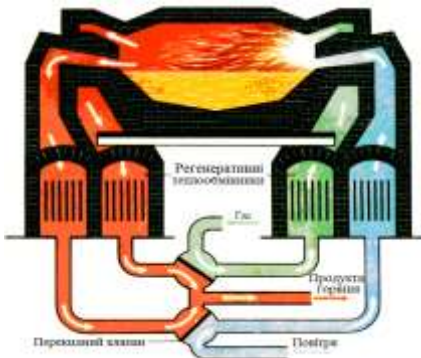


Рисунок 2.5 – Мартенівська піч

Використовується паливо тверде, рідке, газоподібне, змішане.

Мартенівські печі є основні та кислі.

Якщо для одержання сталі використовують лише тверду шихту (твердий чавун, скрап), то такий процес називають *скрап-процесом*.

Якщо для одержання сталі використовують рідкий чавун (до 75 %), то такий процес називають *скрап-рудним процесом*.

Найчастіше застосовують скрап-рудний процес (50-75 % рідкого чавуну, решта – скрап і залізна руда).

Технологічний процес виплавляння сталі в мартенівській печі при скрап-рудному процесі містить такі операції:

- заправлення подини і відкосів;
- завантаження і прогрівання твердих матеріалів;
- заливання шихти;
- кипіння розплавленої ванни;
- розкиснення;
- легування;
- випускання сталі та шлаку.

Тривалість плавлення – 8-12 годин.

**Електричні печі. Металургійні електричні печі можуть бути електродуговими, індукційними та плазмовими.**

Дугові електропечі

Застосовують однофазні та трифазні прямого нагрівання місткістю 2,5-200 т.



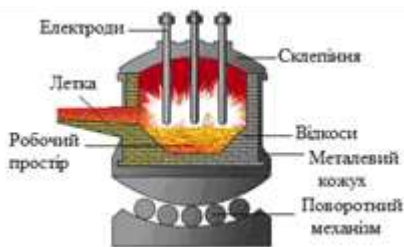


Рисунок 2.6 – Схема металургійної електродугової трифазної печі

окиснюються кремній, марганець, фосфор, вуглець, частково залізо, метал кипить.

Відновлювальний. Сталь рафінується – додають вапно і плавиковий шпат (або шамот), розкиснювачі, розмелений кокс, легувальні елементи. Кінцево сталь розкиснюють алюмінієм. Розливають до ковша.

Триває плавлення 2-4 год.

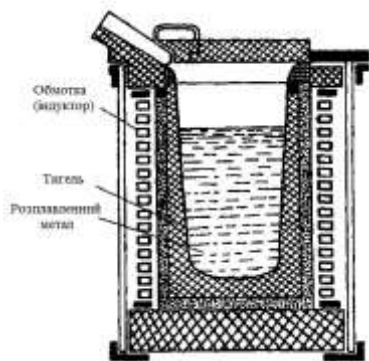


Рисунок 2.7 – Схема індукційної печі

Склад шихти: сталевий брухт (близько 90 %), чавун (5-10 %) – для забезпечення кипіння сталі після розплавлення шихти, залізна руда й окалина для окиснення домішок, флюси.

Робота печі складається із двох етапів.

Окиснювальний –

### *Індукційні печі*

Застосовують для виплавлення високоякісних високолегованих жаростійких, жароміцних сталей, конструкційних, вуглецевих сталей з мінімальним вмістом вуглецю, сплавів з особливими властивостями. Місткість печей від 5 кг до 25 т.

Вхідні матеріали – лише чисті, ретельно дібрані. Шихта розплавляється від вихрових струмів, що виникають в

індукторі при пропусканні через нього струму високої частоти.

Наприкінці плавлення до сталі додають розкиснювачі та легувальні елементи.

Плавлення в індукційних печах часто відбувається в вакуумі або в інертному газі.

### *Плазмово-дугова піч*



Рисунок 2.8 – Плазмова піч для плавлення металу

клад вуглецем із електродів.

За формою ванни та матеріалами, що застосовуються для футерування, плазмово-дугова піч не відрізняється від звичайної дугової електropечі, натомість дає можливість досягти високих і легко регульованих температур у будь-якій контрольованій атмосфері (частіше аргону).

Завдяки цьому виключається забруднення металу небажаними домішками, наприклад вуглецем із електродів.

## **2.2. Технологія прямого відновлення заліза з руд (безкоксова металургія)**

Безкоксова металургія базується на прямому відновленні заліза (низько- і високотемпературному) з оксидів поза доменною піччю (немає забруднення навколишнього середовища, коксу, витрат на обслуговування доменної печі).

Відновлюваний газ отримують шляхом обробки природного газу парою за певних температур.



## Електрошлакове переплавлення

Струм проходить через розплавлений шлак, що має підвищений електричний опір. Температура досягає 2000 °С.

Електрод зі сталі, що переплавляється, плавиться і, краплями просочуючись крізь шлак, очищується від домішок. У кристалізаторі сталь утворює зливочок перетину, що визначається формою кристалізатора.

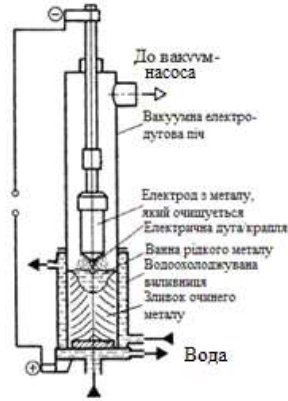


Рисунок 2.11 – Схема електродугового переплавлення сталі у вакуумі (ВДП)

## Вакуумно-дугове переплавлення

Відбувається завдяки створенню вакууму у печах електродугового нагрівання.

Таким чином, знижується розчинність газів у сталі при зниженні тиску атмосфери й унеможливується хімічна взаємодія металу з футерівкою печі, оскільки ВДП проходить у водоохолоджувальних мідних виливницях.

Унаслідок спрямованого відведення тепла виливки ВДП мають підвищені механічні властивості, рівномірний хімічний склад.



Рисунок 2.12 – Схема електронно-променевої печі

## Електронно-променеве переплавлення

Застосовують для отримання особливо чистих тугоплавких металів і сплавів танталу, ніобію, молібдену, цирконію, титану, а також для виплавляння складнолегованої сталі.

Створюється вакуум і плавлення йде за рахунок тепла, що виділяється при зіткненні електронів із поверхнею металу. Метал плавиться, стікає до кристалізатора, де утворюється зливоч.

Сумарний вміст домішок в очищених матеріалах становить  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  % мас.

### Плазмове переплавлення

Стержень із матеріалу, що переробляється, оплавляється факелом плазми. Анодом є поверхня ванни рідкого металу в мідному водоохолоджуваному кристалізаторі.

У контакті з контрольованою газовою атмосферою камери метал рафінується, кристалізується у кристалізаторі, витягується з нього.

Параметри енерговитрати аналогічні електропечам.



Рисунок 2.13 – Схема плазмового переплавлення металу

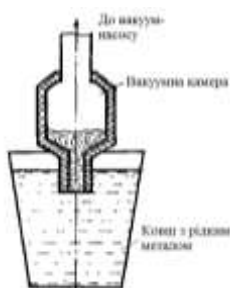


Рисунок 2.14 – Схема порційного вакуумування (періодично)

### Вакуумування (вакуумне дегазування сталі)

Під час створення вакууму зменшується розчинність газів, деяких елементів, які виводяться на поверхню і відсмоктуються.

Вакуумування проводять у ковші, у вакуумних камерах, під час розливання.

Є об'ємне, порційне, циркулярне вакуумування.

## Рафінування синтетичним шлаком

До ковша перед випусканням у нього сталі заливають розплавлений шлак (найчастіше вапняно-глиноземний) і виливають сталь потужним струменем. Між металом і шлаком завдяки миттєвому збільшенню поверхні доторкання відбувається активна взаємодія.

Можливе шляхом вдування через трубку у вигляді порошку: в рідкий метал у потоці інертного газу (аргону) через фурму вводять подрібнені десульфатори і розкиснювачі.

Унаслідок такої обробки можна одержати метал із вмістом сірки та кисню менше 0,005 % мас.

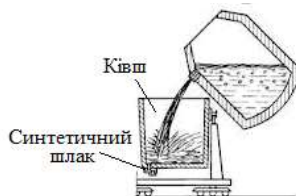


Рисунок 2.15 – Схема рафінування синтетичним шлаком

## Способи розливання сталі

Після отримання сталі її розливають для отримання зливоків одним з трьох способів: у виливниці зверху, у виливниці знизу – сифоном, безперервним.

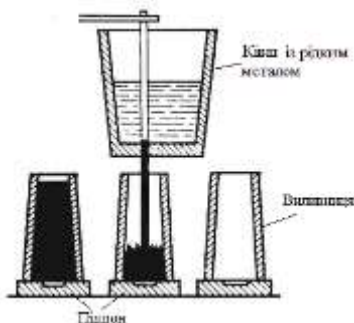


Рисунок 2.16 – Розливання сталі у виливниці зверху

Недоліки:

- великий парк виливниць;

### ***У виливниці зверху***

Найпростіший спосіб – немає витрат на ливники, температура сталі, що заливається, може бути нижчою, ніж при сифоновому розливанні.

- бризки металу застигають на стінках виливниці і погіршують поверхню зливка – отже, велика витрата металу.

### Сифонне розливання

Заповнюють одночасно декілька виливниць (від 2 до 60), використовуючи принцип посудин, що сполучаються. Використовується для дорогих легованих і високоякісних сталей.

Забезпечує повільне, без розбризування заповнення виливниць, можна розливати велику масу металу одночасно на декілька дрібних злитків.

Недоліки – трудомісткість, витрата металу на ливники, перегрів металу.

Після розливання сталі у виливниці залежно від ступеня розкиснення отримують сталь спокійну, напівспокійну та киплячу:

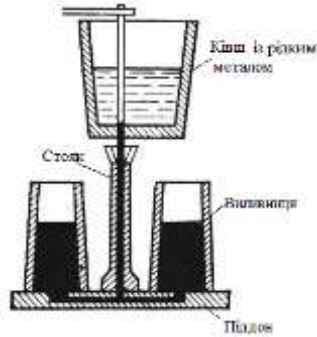


Рисунок 2.17 – Розливання сталі сифоном (у виливниці знизу)

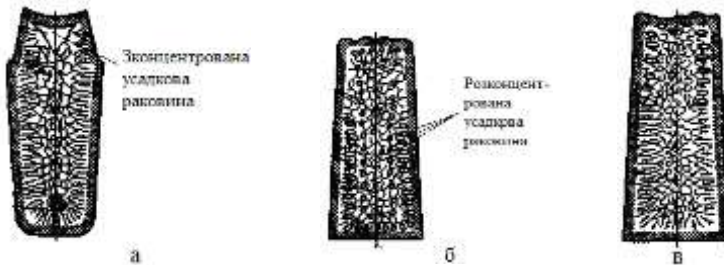


Рисунок 2.18 – Схема зливоків із різним ступенем розкиснення: а – спокійна сталь; б – кипляча сталь; в – напівспокійна сталь

## Безперервне розливання сталі

Проводять у водоохолоджувальну виливницю без дна – кристалізатор, із нижньої частини якого витягується тверднучий вилівок.

Переваги:

- відсутні усадкові раковини;
- щільна будова;
- дрібнозерниста структура;
- якісна поверхня;
- ККД 96-98 % від маси сталі;
- не потрібні блюмінги і слябінги;
- зменшується хімічна неоднорідність;
- покращуються умови праці.

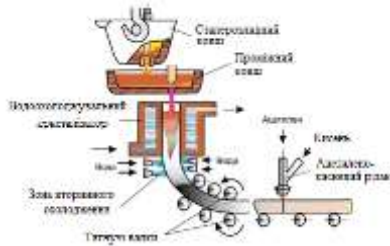


Рисунок 2.19 – Безперервне розливання сталі

## 2.3. Металургія кольорових металів

У машинобудуванні найбільш застосовані сплави на основі алюмінію, міді, титану, магнію.

### Отримання алюмінію

Промисловим способом отримання металевого алюмінію є електролітичне розкладання оксиду  $Al_2O_3$ , розчиненого в розплавленому криоліті  $Na_3AlF_6$ .

Виробництво алюмінію складається із двох стадій: отримання глинозему з боксидів (алюмінієвих руд) та електроліз глинозему з отриманням металу.

Електроліз проводиться у спеціальних пристроях – електролізерах (ваннах). Металевий алюміній збирається на дні ванни під шаром електроліту.



Щоб одержати алюміній підвищеної чистоти, необхідно провести рафінування: електролітичне або хлором.

### **Отримання міді**

Сировиною для виробництва міді служать сульфідні, оксидні або змішані мідні руди, а також відходи міді та її сплавів. Мідні руди піддають збагаченню. Далі проводиться окиснювальне випалення для видалення сірки.

Наступним етапом виробництва міді є плавка концентрату на штейн (вміст міді в штейні 20-45 %, шлаку 0,4-0,6 %).

Потім відбувається плавлення у шахтних печах з отриманням спочатку чорнової і після рафінування – чистової міді.

### **Отримання титану**

Найпоширенішими титановими рудами є ільменіт  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ , рутил  $\text{TiO}_2$  та ін.

Титанові руди збагачують різними способами.

Далі йде відділення оксидів заліза  $\text{FeO}$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . При цьому відбувається перехід титану в шлак 96-97 %;

Потім проводять хлорування титанового шлаку й отримання чотирихлористого титану.

Із чотирихлористого титану відновлюють титан і магній – термічним способом (до 75 % від загальної маси) й одержують титанову губку (титан + магній).

### **Отримання магнію**

Головним способом отримання магнію є електроліз його розплавлених солей при 700-720 °С.

Сировиною для виробництва магнію служать магнієві руди: хлориди і карбонати.

Металевий магній може бути одержаний також термічними способами – шляхом відновлення оксиду магнію

вуглецем, кремнієм або феросиліцієм при високих температурах і відносно глибокому вакуумі.

Зливки з титанової губки одержують способом вакуумно-дугового переплавлення.

## 2.4. Порошкова металургія

Порошкова металургія – це галузь, що охоплює виробництво порошків металів (Fe, Cu, Ni, Al тощо), їх сплавів і сполук, а також неметалевих матеріалів (графіту, сажі) таї одержання з них напівфабрикатів, заготовок або готових виробів. При цьому основний компонент таких матеріалів не доводять до плавлення.

Метод порошкової металургії цінний можливістю отримання матеріалів із металів зі значною різницею температури плавлення (W + Cu), з металів і неметалів (бронза + графіт), із хімічних сполук (оксидів, карбідів, нітридів) – тверді сплави, з матеріалів із пористістю тощо.

Тут є мінімальною втрата матеріалів, і метод є високо-ефективним при виготовленні деталей загального машинобудування. Такі вироби виготовляють із порошків сталі, бронз, латуней та інших матеріалів.

За умов дотримання технології такі деталі можна додатково обробляти різанням, піддавати термічній обробці.

*Способи отримання порошків* є механічні (грануляція, подрібнення тощо) та фізико-хімічні (хімічне відновлення, електроліз тощо).

Для виготовлення якісних заготовок або деталей порошки відпалюють, розділяють за розмірами частинок, змішують.

Властивості порошкових виробів значною мірою залежать від якості змішування компонентів шихти. Ця операція здійснюється у спеціальних змішувачах, кульових або вібраційних млинах та іншими способами.

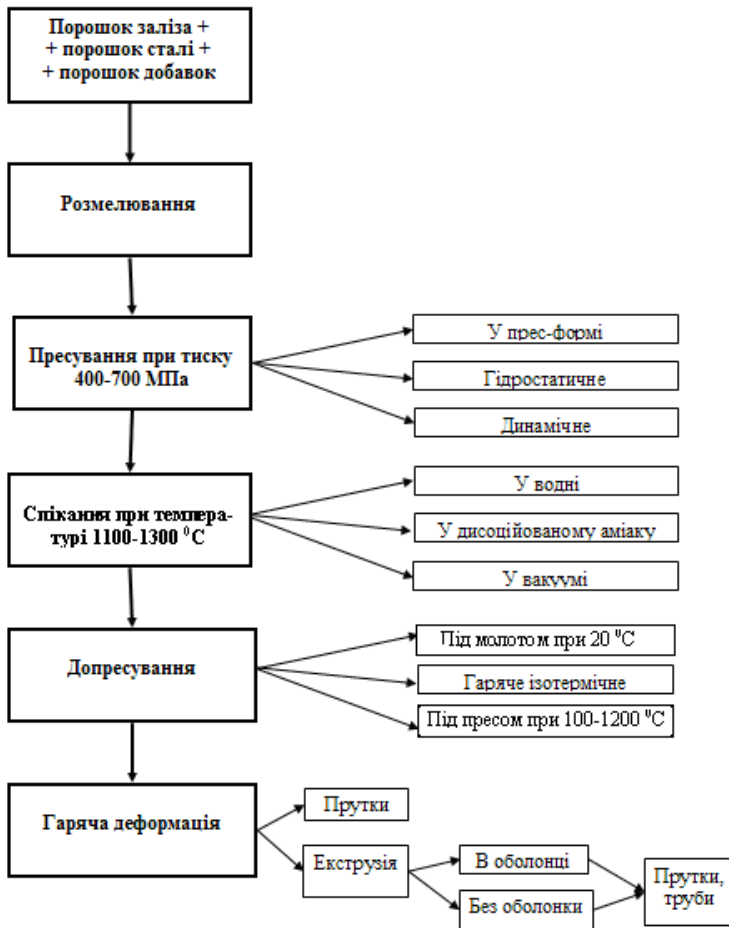


Рисунок 2.20 – Схема отримання зі сталевих порошків заготовок та виробів

*Процес формування заготовок* (надання матеріалу форми та розмірів заготовки) полягає в ущільненні порошку під дією прикладеного тиску з метою виготовлення з нього заготовок певної форми.

Формування здійснюється:

- пресуванням;

- видавлюванням;
- прокатуванням;
- шлікерним литтям.

Пресування порошоків є холодне, гаряче і гідростатичне. Може проводитися за допомогою екструзії (видавлюванням крізь отвір), прокатуванням тощо.

Для підвищення міцності відформовані з порошку заготовки піддають спіканню. Цю операцію здійснюють за температури, що становить  $2/3$  від температури плавлення основного компонента.

Якщо потрібно підвищити точність розмірів й ущільнення поверхневого шару, то спечені деталі піддають калібруванню (ступінь деформації 0,2-1,6 % від відповідного розміру).

### **Питання до розділу 2**

1. У чому полягає процес отримання сталі? За якими схемами отримують сталь?
2. Перелічіть та дайте характеристику вхідних матеріалів для виробництва чавуну.
3. Будова доменної печі. Які основні фізико-хімічні процеси проходять у доменній печі?
4. Дайте характеристику продукції доменного виробництва.
5. Перелічіть та дайте характеристику вхідних матеріалів для виробництва сталі.
6. Опишіть роботу кисневого конвертера. Переваги, недоліки.
7. Опишіть роботу мартенівської печі. Переваги, недоліки.
8. Опишіть роботу індукційної печі. Переваги, недоліки.
9. Опишіть роботу електродугової печі. Переваги, недоліки.

10. Опишіть роботу плазмово-дугової печі. Переваги, недоліки.

11. Опишіть принцип підвищення якості сталі електрошлаковим переплавленням. Переваги, недоліки.

12. Опишіть принцип підвищення якості сталі вакуумно-дуговим переплавленням. Переваги, недоліки.

13. Опишіть принцип підвищення якості сталі електронно-променевим переплавленням. Переваги, недоліки.

14. Опишіть принцип підвищення якості сталі плазмовим переплавленням. Переваги, недоліки.

15. Опишіть принцип підвищення якості сталі дегазуванням та рафінуванням синтетичним шлаком. Переваги, недоліки.

16. Опишіть принцип розливання сталі зверху. Переваги, недоліки.

17. Опишіть принцип розливання сталі сифоном. Переваги, недоліки?

18. Опишіть принцип безперервного розливання сталі. Переваги, недоліки.

19. Дайте характеристику порошкової металургії.

20. Опишіть загальний технологічний процес отримання виробів порошковою металургією.

### 3. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Ливарне виробництво – це отримання виробів шляхом заповнення рідким матеріалом порожнини форми, що має конфігурацію потрібної заготовки.

Після кристалізації та охолодження металу у формі отримуємо виливок (лита деталь або заготовка), яка витягається з форми і піддається подальшій обробці.

Загалом при литті механічні властивості нижчі, ніж при обробці металів тиском. Є винятки.

*Ливарна форма* – це приладдя, що створює робочу порожнину, при заливанні до якої рідкого металу формується виливок.

*Модельний комплект* – це комплект формувальних пристроїв, потрібних для утворення при формуванні робочої порожнини. Це модель, стрижневі ящики, моделі ливникової системи, формувальні, контрольні та складальні шаблони для визначеного виливка.

*Модель* – елемент, за допомогою якого у ливарній формі одержують порожнину (відбиток), куди заливатиметься метал. Модель більша виливка на величину усадки металу і припуску на механічну обробку. Виготовляють моделі для лиття в піщано-глинясту форму з дерева, металу, пластмаси.

*Виливок* – заготовка, отримана способом лиття.

*Формувальні суміші* застосовують для виготовлення разових форм. Суміші містять пісок, глину, проти-пригарні й зв'язувальні речовини. Повинні мати високу



Рисунок 3.1 – Виливок із ливниковою системою, додатками

пластичність, міцність, газопроникність, вогнетривкість, піддатливість. Формові суміші поділяють на облицювальні, наповнювальні та єдині.

### 3.1. Основні ливарні властивості сплавів

*Рідкоплавкість* – здатність металу заповнювати ливарну форму і відтворювати контури її внутрішньої порожнини.

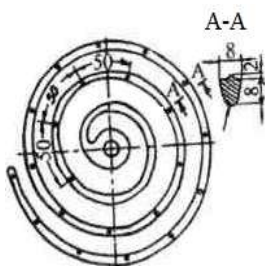


Рисунок 3.2 – Спіральна технологічна проба на рідкоплавкість

на рідкоплавкість в процесі затвердіння і затверділому стані. Залежить від хімічного складу сплаву, температури заливки, конфігурації виливка.

Є об'ємна і лінійна усадка. Об'ємна впливає на появу усадкових раковин. Лінійна визначає розмірну точність одержаних виливків.

Лінійна (об'ємна) усадка становить: сірого чавуну – 0,8-1,3 % (max ~7%); вуглецевих сталей – 2-2,4 %; алюмінієвих сплавів – 0,9-1,45 % (max 3,2-6,8 %); мідних сплавів – 1,4-2,3 %.

Залежить від фізичних властивостей металу, його хімічного складу, температури, фізичних властивостей і стану форми.

Збільшення вуглецю, кремнію, фосфору, а також підвищення температури підвищують рідкоплавкість.

*Усадка* – властивість металів і сплавів зменшувати об'єм під час охолодження в розплавлен-

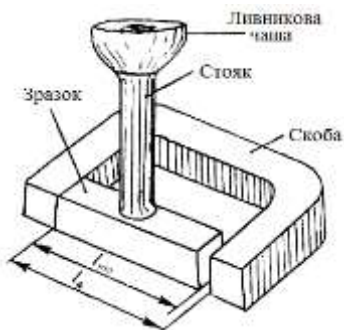


Рисунок 3.3 – Проба на лінійну усадку за допомогою скоби

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



Рисунок 3.4 – Мікроструктура повільно охолодженого зливка за висотою. Сплав свинець-сурма (20 % Sb)

*Газопоглинання* – здатність ливарних сплавів у розплавленому стані розчиняти водень, азот, кисень та інші гази.

*Дендритна ліквіація* – коли хімічна неоднорідність спостерігається в кожному зерні.

### Ливарні сплави

Різні метали, сплави мають неоднакові ливарні властивості, що врешті й визначає вибір

тієї чи іншої технології лиття.

### Чавун

Є найпоширенішим матеріалом для отримання фасонних виливків (близько 80 % продукції лиття).

Унаслідок наявності в структурі графіту чавунні вилки не такі чутливі до зовнішніх концентраторів напружень, добре протистоять вібраційним навантаженням. Мають добрі технологічні властивості і порівняно дешеві.

*Сірий чавун.* Чавун СЧ 00- СЧ 12 – феритова структура; СЧ 24-СЧ 44 – перлитова, інші ф+п. Цифри – межа міцності при розтягуванні.

Швидкість охолодження впливає на структуру – отже, різнотов-



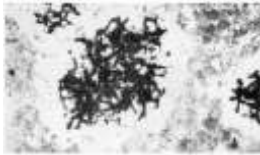
Рисунок 3.5 – Мікроструктура СЧ 12, х300



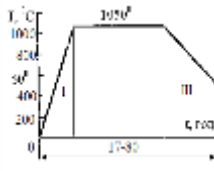
щинна заготовка із чавуну може мати різну мікроструктуру та міцність.

### Ковкий чавун

Для отримання ковкого чавуну спочатку виплавляють



а



б

Рисунок 3.6 – Мікроструктура ковкого чавуну (а) КЧ 50-5,х700 та графік відпалювання білого чавуну на ковкий (б)

режимів: розкладається цементит і отримуємо графіт відпалювання в кінцевій структурі.

Може бути феритний КЧ 37-12 і перлітний КЧ50-5 тощо.

### Високоміцний чавун

Одержують модифікацією рідкого чавуну деякими лужними або лужноземельними металами. Частіше застосовують магній у кількості 0,03-0,07 %.

Під дією магнію графіт у процесі кристалізації металу в формі набуває не пластинчастого, а кулястого вигляду.

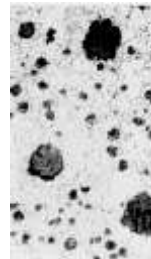


Рисунок 3.7 – Мікроструктура високоміцного чавуну, х300

Кулястий графіт не є активним концентратором напруження, отже чавуни з кулястим графітом мають вищі механічні властивості, не поступаються литій вуглецевій сталі, зберігаючи при цьому хороші ливарні властивості та оброблюваність різанням, здатність гасити вібрації.

Типовий склад чавуну: 2,7-3,6 % C; 1,6-2,7 % Si; 0,5-0,6 % Mn; 0,10 % S і 0,10 % P.

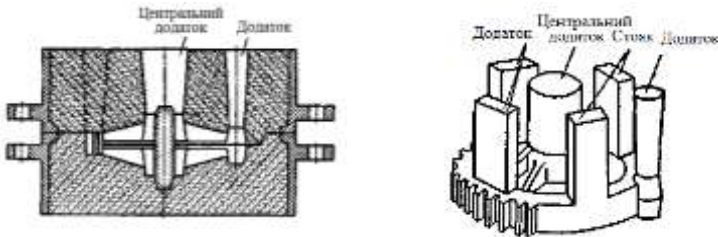


Рисунок 3.8 – Форма для лиття сталевого виливка та отриманий виливок

### Сталь

Має гірші за чавун ливарні властивості. Застосовують для отримання виливків, які разом із високою міцністю повинні володіти добрими пластичними характеристиками.

Виготовлення форм для виливків зі сталі відрізняється застосуванням великих додатків для живлення великої (6 %) об'ємної усадки сталі. При цьому необхідно врахувати, що сталь має знижену рідкоплавкість і високу температуру заливання. У середньому маса додатка становить 0,6 від маси виливка.



Рисунок 3.9 – Мікροструктура силуміну

### Алюмінієві сплави

Високими ливарними властивостями володіють сплави з евтектикою – алюмінію з кремнієм, силуміни (АЛ2, АЛ3, АЛ5). Однак механічні властивості цих сплавів низькі.





Рисунок 3.13 – Однофазна (до 39 % Zn) лита латунь



Рисунок 3.14 – Двофазна (вище 39 % Zn) лита латунь

Мідні сплави характеризуються великою усадкою, порівняно легкою окиснюваністю при високій температурі. Застосовують достатні за об'ємом добавки, передбачають повільне підведення металу у форму, що виключає падіння сплаву з висоти, розбрикування і зіштовхування його потоків.

### Магнієві сплави

До ливарних відносять такі магнієві сплави: на основі системи Mg-Al-Zr (МЛ3, МЛ5;  $\sigma_B = 147-225$  МПа,  $\delta = 2-5$  %); на основі Mg-Nb-Zr, Mg-Zn-Zr.

До деформованих відносять: на основі системи Mg-Mn (МА1; МА8;  $\sigma_B = 240-260$  МПа,  $\delta = 5-12$  %); Mg-Al-Zn, Mg-Nd тощо.



Рисунок 3.15 – Двофазна лита бронза

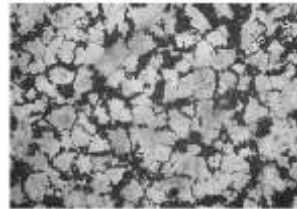


Рисунок 3.16 – Мікроструктура МЛ5 після термічної обробки

Завдяки малій щільності сплави Mg за питомою міцністю вищі алюмінієвих.

Під час отримання форм для магнієвого литва враховують велику реакційну здатність магнію – до формувальних матеріалів додають сірку та борну кислоту.

Перед заливанням форму просушують. Під час виготовлення ливникової системи передбачають повільне, спокійне заповнення форми.

Під час заливки форми струмись металу опилують сірчанам порошком. Сірка утворює пари і захисний сірчистий газ.

### 3.2. Плавлення сплавів перед заливанням у форму

Для плавлення сплавів у ливарних цехах застосовують: дугові електропечі, індукційні електропечі, печі опору, електронно-променеві печі, вагранки.

#### Дугові електропечі

У цих печах плавлять сталь і чавун.

Конструкція печей і процес плавки в них описані в розділі «Металургія сталі».

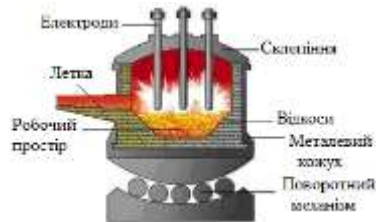


Рисунок 3.17 – Трифазна дугова піч

#### Індукційні електропечі без сердечника

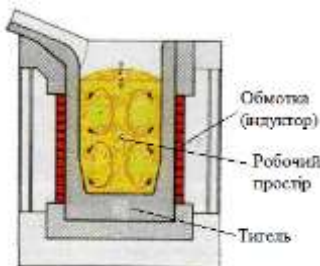


Рисунок 3.18 – Індукційна електропіч без сердечника

Ці печі є повітряним трансформатором, первинною обмоткою яких є мідний порожнистий водоохолоджуваний індуктор, а вторинною – металева шихта, що завантажується в тигель. Залежно від частоти змінного струму, що живить індуктор, ці печі поділяють:

- на печі промислової частоти (50 Гц);
- високої частоти (більше 500 Гц).

### Індукційні електропечі із сердечником (низької частоти)

Піч складається із шахти і каналів (одного або трьох), які охоплюють сердечник 1 та первинну обмотку трансформатора.

До первинної обмотки (індуктора) підводиться струм промислової частоти. Рідкий метал, заздалегідь залитий у канал 2, створює коротко замкнутий вторинний виток, у якому збуджується електричний струм великої сили, що перетворюється на теплову енергію.

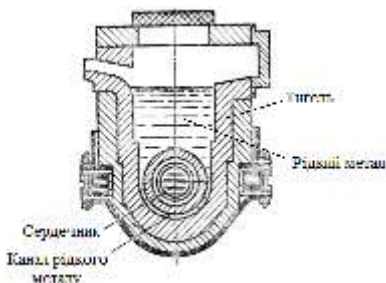


Рисунок 3.19 – Індукційна електропіч з сердечником

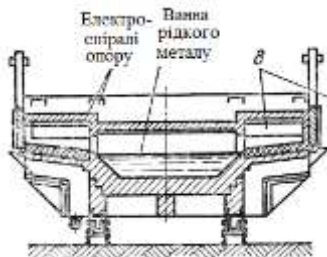


Рисунок 3.20 – Схема електропечі опору

Основним джерелом теплоти для нагрівання, розподілу і перегрівання металу в таких печах є стрічкові електронагрівачі з ніхрому (80 % Ni, 20 % Cr).

Електронагрівальні елементи розташовані під склепінням та на стінках печі.

Плавлення в цих печах економічніше, ніж у височастотних, але вимагає наявності рідкого металу.

### Електропечі опору

У цих печах плавлять алюмінієві, магнієві та цинкові сплави.

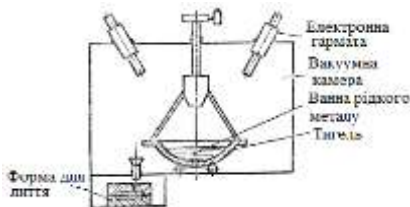


Рисунок 3.21 – Установа електронно-променевого переплавлення

## Електронно-променеві печі

Застосовують для тугоплавких сплавів. Метал в електронно-променевих печах плавлять за рахунок теплової енергії, що виділяється при різкому гальмуванні електронів, розігнаних до великої швидкості, при зустрічі з шматками шихти.

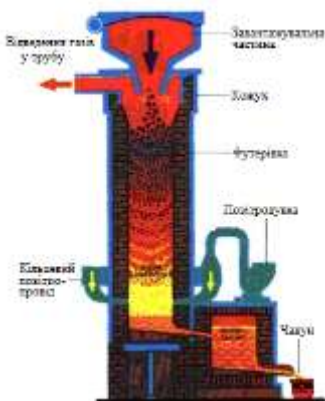


Рисунок 3.22 – Схема вагранки

## Вагранки

У старих чавуноливарних цехах вагранка є основним плавильним агрегатом. Вона є шахтною піччю, подібною до доменної.

Білий чавун для ковкого чавуну часто плавлять у двох печах: спочатку у вагранці, потім в електроплавильних печах, де доводять чавун до певного хімічного складу і перегрівання.

## 3.3. Технології отримання виливків

Заготовки у спосіб лиття отримують:

- литтям у піщані форми (ручне або машинне формування);
- литтям у стрижневі форми;
- литтям у багаторазові (цементні, графітні, азбестові форми);
- литтям в оболонкові форми;
- відцентровим литвом;
- литтям у кокіль;
- литтям під тиском;
- литтям за моделями, що газифікуються;
- литтям за моделями, що виплавляються;
- литтям за моделями, що заморожуються;

- вакуумним литтям;
- електрошлаковим литтям.

### Отримання виливків литтям в піщано-глиняні форми

Такі форми є одноразовими.

Технологічний

процес передбачає:

- виготовлення модельного комплекту, приготування формових і стержневих сушішей (рис. 55 а, б);
- виготовлення стержня і сушіння (рис. 55 г, д);
- виготовлення форм і їх складання, сушіння (рис. 55 е);
- заповнювання форм металом (рис. 55 ж);
- охолодження виливків (рис. 55 з);
- вибивання форми;
- очищення та контроль.

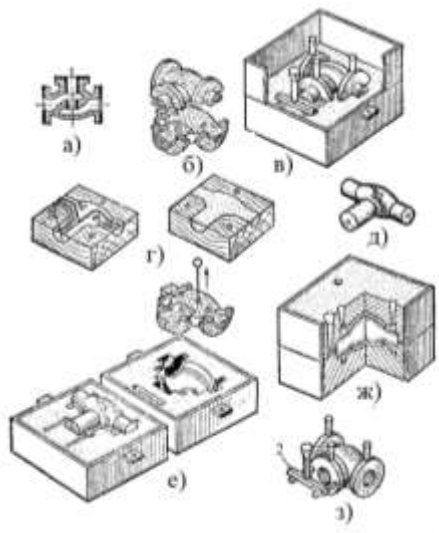


Рисунок 3.23 – Схема технологічного процесу отримання виливка у піщаній формі

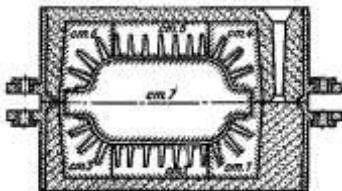


Рисунок 3.24 – Форма для кришок з ребрами, складена зі стержнів

### Отримання виливків у формі зі стержнів

У цей спосіб одержують тонкостінні виливки, складної конфігурації або з великою кількістю ребер.

За допомогою стержнів збирають форму для утворення робочої порожнини. В



даному випадку форму складено із сімох стержнів.

### Отримання вилив- ків у ливарних кесонах

Для виготовлення крупних форм виливки виконують із декількох частин.

За економічної недоцільності такого методу застосовують формування в кесонах (бетонованих ямах).

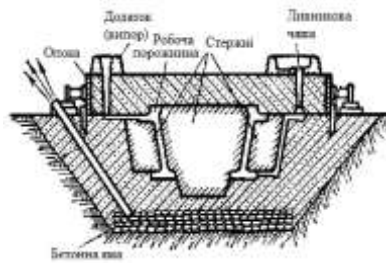


Рисунок 3.25 – Схема ливникового кесона

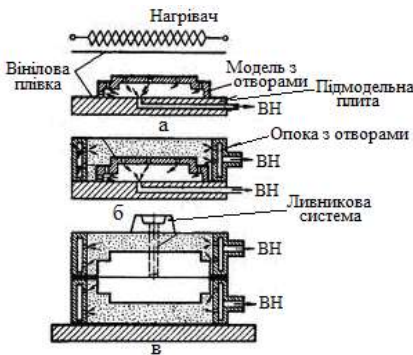


Рисунок 3.26 – Схема вакуумно-плівкового формування: а – створення оболонки; б – створення напівформи; в – складена форма

формування розігрітою вініловою плівкою.

Модель та підмодельна плита мають безліч невеликих отворів, крізь які відсмоктується повітря і створюється вакуум, щоб плівка “обтягла” модель.

Опоки заповнюються кварцовим піском, герметизуються плівкою – ущільнення проходить за рахунок вакууму. Форма складається. Під час зливання рідкого металу до форми плівка згорає й утворюється антипригарне покриття.

Наприклад, при виготовленні виливка станини поперечно-стругального верстата завдовжки 18 м.

### Отримання вилив- ків у формах вакуумно-плівкового формування

Граничний шар робочої порожнини, що контактуватиме з рідким металом утворюється шляхом покриття моделі під час

## Отримання виливків у формах, що зроблені за шаблонами

Шаблон – профільована дошка з вирізаним зовнішнім або внутрішнім профілем виливка.

Виготовлення шаблона значно простіше, ніж моделі, не вимагає великої витрати деревини і трудомістких робіт.

Для поліпшення газопроникності майбутньої форми на дно ями засипають кокс і потім ущільнюють формувальну суміш.

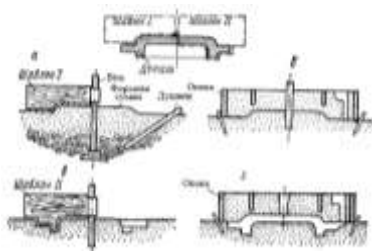
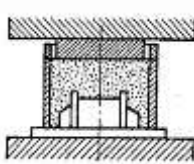


Рисунок 3.27 – Схема формування шаблонами

## Механізація процесу формування відбувається шляхом



а



б

Рисунок 3.28 – Машина з верхнім (а) та нижнім (б) пресуванням

часткової заміни ручної праці машинами для ущільнення формової суміші, або повною автоматизацією формування (безопокове формування).

Використовують машини для ущільнення суміші з верхнім та нижнім пресуванням, струшувальні машини, машини для метання піску тощо.

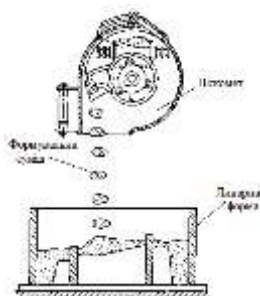


Рисунок 3.29 – Формувальний піскомет для габаритних форм

*Безопокове формування* відрізняється високою продуктивністю і економічністю. У такий спосіб виготовлення форм досягається достатня точність виливків, скорочуються виробничі витрати на виготовлення опок, спрощуються процеси виби-вки виливків із форм. Часто повністю автоматизується процес створення виливка.

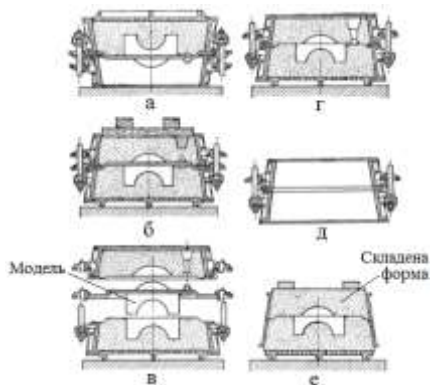


Рисунок 3.30 – Технологічні етапи безопового формування

Ефективний для нескладних невеликих виливків.

### 3.4. Спеціальні способи лиття

До спеціальних способів лиття відносять: у кокіль, відцентрове, під тиском, за моделями, що виплавляються, електрошлакове, в оболонковій формі, вакуумним усмоктуванням, видавлюванням тощо.

#### **Лиття в кокіль**

*Кокіль* – це багаторазова металева форма, виготовлена із чавуну або сталі.

Перед заливанням поверхню металевої форми покривають спеціальним вогнетривким покриттям (на основі графіту, рідкого скла) і нагрівають до 250...300 °С.

Етапи:

- встановлюють стержні (можуть бути металеві);

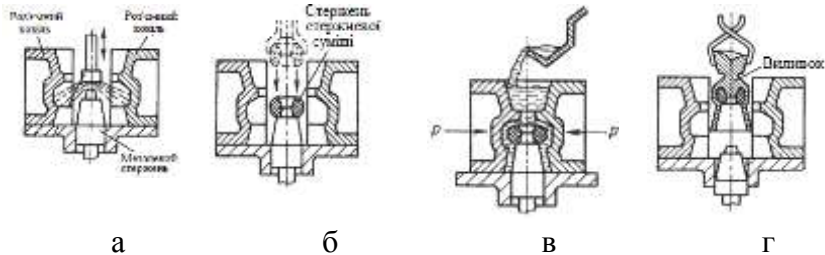


Рисунок 3.31 – Технологія лиття в кокіль (з комбінованим стрижнем)

- складають форму;
- заливають розплавом.

Виливки кокільного лиття мають високу точність розмірів, низьку шорсткість поверхні – менший припуск на механічну обробку.

### Відцентрове лиття

Відцентровим литтям одержують виливки з отворами без використання стержнів.

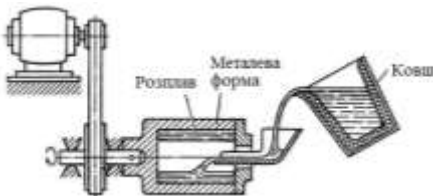


Рисунок 3.32 – Схема відцентрового лиття з горизонтальною віссю обертання

При цьому одержують виливки із ущільненою структурою.

Є машини з горизонтальною і вертикальною осями обертання. Застосовується спосіб також для лиття невеликих виливків.

При відцентровому литті розплав заливають у форму, обертається навколо горизонтальної або вертикальної осі. Розплав відтісняється до стінок форми відцентровою силою. При цьому одержують виливки із ущільненою структурою.

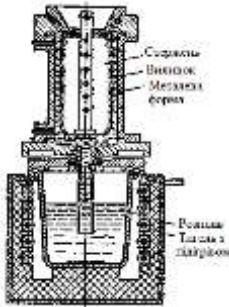


Рисунок 3.33 – Схема лиття під низьким тиском

Недолік – обмеженість розмірів виливків.

### Лиття вакуумним всмоктуванням

У формі створюється розрідження, і метал заповнює форму, утворюючи при затвердінні виливок.

Цим способом виготовляють різноманітні втулки, кільця, гайки, дрібні зубчасті колеса та інші вироби, здебільшого з мідних сплавів.

Перевагою зазначеного способу є усунення браку щодо газових раковин і пористості, оскільки виливок утворюється при послідовній кристалізації.

### Лиття під низьким тиском

При цьому способі лиття розплав заповнює металеву форму під тиском стисненого повітря (інертного газу) на дзеркало розплавленого металу в тиглі печі, що рухає його до форми.

Виливки мають високу точність, малу шорсткість поверхні.

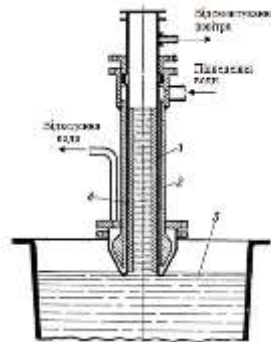


Рисунок 3.34 – Схема лиття вакуумним всмоктуванням

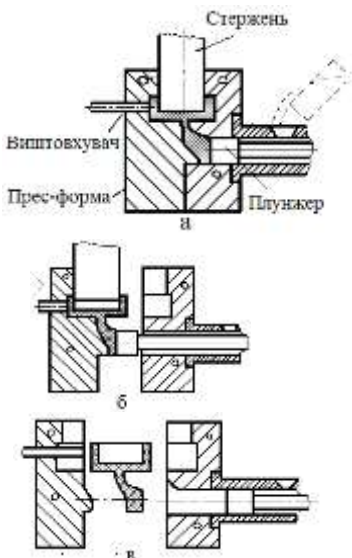


Рисунок 3.35 – Технологічні етапи лиття у прес-форму

легкорозчинні солі на поліефірного спирту тощо).

Модель не видаляється в процесі формування.

Модель ливникової системи створюється одночасно з моделлю деталі.

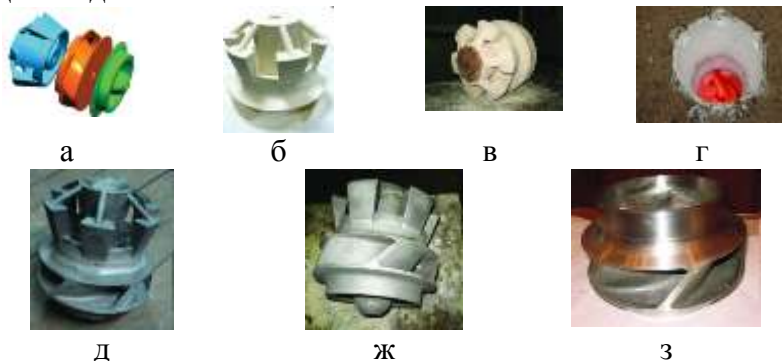


Рисунок 3.36 – Етапи технології отримання виливка литтям за моделями, що виплавляються

### Лиття під високим тиском

У цей спосіб одержують виливки з алюмінієвих сплавів, сталі і чавуну складної конфігурації, з тонкими стінками, зі сплавів з поганою рідкоплавкістю.

Форми для лиття під тиском називаються прес-формами.

### Лиття за моделями, що виплавляються

Моделі можна виготовляти з матеріалів, які випаляються, розчиняються, газифікуються (полістирол,

Виливки мають високу якість, що забезпечує зниження частки механічної обробки.

Технологічний процес передбачає:

- виготовлення моделі разом з ливниковою системою з парафіну (у прес-формі, 3Ддрук) (рис. 3.36 а, б);
- виготовлення форми шляхом покриття сумішшю піску та рідкого скла (рис. 3.36 в);
- виплавлення моделі та прожарювання форми;
- заливання форм (рис. 3.36 г);
- вибивання (рис. 3.36 д) та очищення виливків (рис. 3.36 ж);
- механічна обробка виливків і отримання деталі (рис. 3.36 з).

Різновидом такого процесу є лиття за моделями, що газифікуються – коли модель видаляється (газифікується) безпосередньо під час заливання рідкого металу.

### Лиття в оболонкові форми

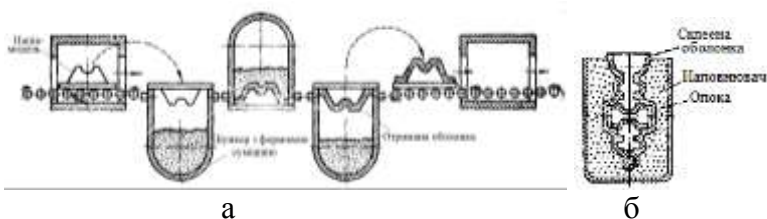


Рисунок 3.37 – Етапи утворення оболонки (а) і складена оболонкова форма (б)

Цей спосіб лиття є різновидом лиття в разові піщані форми, забезпечує отримання виливків з високою якістю поверхні.

Оболонкові форми виготовляють із суміші, що складається з кварцового піску і синтетичної смоли.

Напівоболонки склеюються між собою.

## Електрошлакове лиття

При електрошлаковому литті плавлення металу, заповнення ним ливарної форми і кристалізація виливка проходять безперервно й одночасно.

Метал, що проходить через розплавлений шлак інтенсивно очищується і стікає у форму певної конфігурації.

Виливки мають високу якість, щільність.

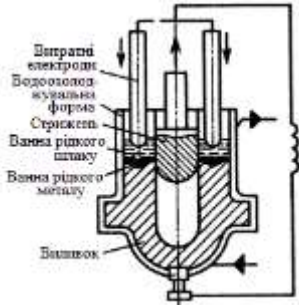


Рисунок 3.38 – Схема електрошлакового лиття

## Лиття вичавлюванням

Перевагами способу литва видавлюванням є: можливість отримання великогабаритних тонкостінних виливків; відсутність ливникової системи; можливість вичавлювання металу у форму в суспензійному стані (при температурах між солідусом і ліквідусом).

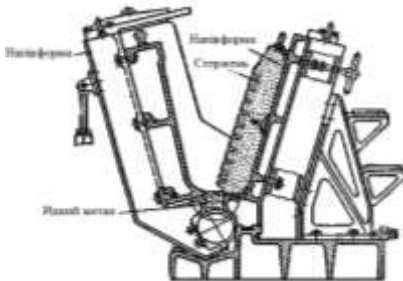


Рисунок 3.39 – Форма для лиття вичавлюванням

металеві форми) через неточну стиковку напівформ; низький вихід придатного литва (25-50 %).

Спосіб має знижену точність розмірів виливків (порівняно з литтям у

## Післяопераційна обробка виливків

### Обрубвання та очищення виливків

Після остигання виливка у формі згідно з технологією:  
- витрушують із форми на вібраційних столах;



- очищують від припаленої формової суміші пневматичним інструментом, піском, дробом, у галтовочних барабанах, видаляють (обрубують) ливникову систему, додатки тощо в механічний спосіб або газовим різанням.

### **Контроль якості виливків**

Контроль виливків спочатку здійснюють візуально для виявлення дефектів. Щільність металу перевіряють гідрравлічними випробуваннями водою під тиском до 200 МПа.



Рисунок 3.40 – Усадкова раковина



Рисунок 3.41 – Газовий пузир



Рисунок 3.42 – Газова пористість від азоту



Рисунок 3.43 – Тріщина після гідрравлічних випробувань

Дефекти можуть бути виправні та невивправні.

За розташуванням дефекти поділяють на зовнішні та внутрішні.

Внутрішніми дефектами є усадкові та газові раковини, тріщини гарячі й холодні, шлакові вкраплення.

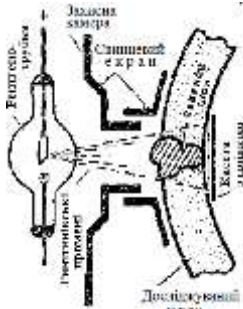


Рисунок 3.44 – Принцип рентгенодефектоскопії

Для виявлення дефектів виливків проводять зовнішній огляд, рентгеноскопію, магнітну дефектоскопію, ультразвукові дослідження тощо.

Є руйнівні методи контролю. Такі випробування вибіркові або за “зразками-свідками”.

Виправлення дефектів литва проводять:



Рисунок 3.46 – Ультразвукова дефектоскопія

Зовнішніми дефектами є тріщини, раковини, перекіс, пригар, недолив металу, перелив, короблення.

Причинами дефектів є порушення технології виготовлення форм, стержнів, одержання рідкого металу, його заливання, приготування формових і стержневих сумішей та ін.

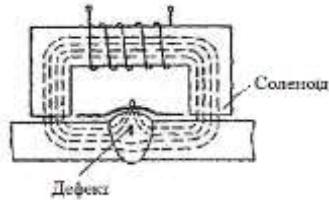


Рисунок 3.45 – Принцип магнітної дефектоскопії

- наплавленням;
- заварюванням;
- замащуванням;
- просочуванням (бакелітовим лаком);
- термічною обробкою;
- металізацією (напилюють краплі рідкого металу) та в інший спосіб.

## **Вибір технологічного способу лиття**

Правильно вибрати спосіб отримання заготовки – означає визначити раціональний технологічний процес її отримання з урахуванням матеріалу деталі, вимог до точності її виготовлення, технічних умов, експлуатаційних характеристик і серійності. Відповідність цим вимогам і є технологічністю заготовки.

Застосовність способів лиття визначають, враховуючі:

1. Технологічні властивості сплаву.

При зниженій рідкоплавкості не рекомендують застосовувати литво в металеві форми.

При високій схильності до усадки не рекомендоване литво в металеві форми, які мають низьку податливість, а також литво під тиском через складність прес-форми.

2. Можливості способів для отримання виливків без дефектів ливарного походження і для забезпечення рівномірної дрібнозернистої структури, високих механічних властивостей.

3. Технологічність конструкції деталі стосовно кожного даного способу.

Складні за конфігурацією виливки одержують литвом під тиском, за моделями, що виплавляються, в піщаних формах.

Литтям у кокіль одержують виливки з простою зовнішньою конфігурацією,

Відцентровим литтям – виливки типу тіл обертання.

Найбільш тонкостінні виливки одержують литвом за моделями, що виплавляються, і литвом під тиском.

Спеціальні способи литва застосовують для отримання дрібних і середніх виливків

Під час лиття в піщані форми габарити й маса виливків не обмежені.

4. Спеціальні способи литва доцільно застосовувати у великосерійному і масовому виробництвах.

5. Необхідно враховувати можливості наявного устаткування, рівень ливарної технології та технології механічної обробки.

6. Найточнішим показником, що визначає ефективність застосування того або іншого способу, є собівартість.

### Запитання до розділу 3

1. Дайте визначення основних ливарних властивостей сплавів.

2. Опишіть ливарні властивості чавунів та сталей.

3. Опишіть ливарні властивості сталей, алюмінієвих та мідних сплавів.

4. Дайте характеристику плавильних агрегатів ливарних цехів.

5. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків литтям у піщано-глинясту форму.

6. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків «відцентровим литтям».

7. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків в оболонкові форми.

8. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків у кокілях.

9. Дайте оцінку технологічним можливостям формування шаблонами.

10. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання форми вакуумним формуванням.

11. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків «литвом під високим тиском».

12. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків «литвом під низьким тиском».

13. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків «литвом вакуумним всмоктуванням».

14. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання форми зі стержнів.

15. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання форми безопоковим формуванням.

16. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків «литвом за моделями, що виплавляються».

17. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків «литвом видавлюванням».

18. Дайте оцінку технологічним можливостям отримання виливків «литво у кесони».

19. Охарактеризуйте ливарні властивості чорних та основних кольорових металів і сплавів на їх основі.

20. Контроль якості виливків. Дефекти, їх виправлення.

## 4. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ

### 4.1. Загальна характеристика обробки металів тиском (ОМТ)

1. Обробка металів тиском базується на здатності металів (неметалів) за певних умов набувати пластичної (залишкової) деформації під дією зовнішніх сил.

2. Повна деформація тіла у момент дії навантаження складається з пружної (що виникає першою) і пластичної (залишкової) деформацій.

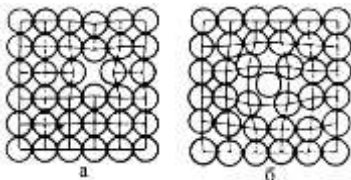


Рисунок 4.1 – Точкові дефекти: а) вакансія; б) дислоційований атом

Щільність металу не змінюється.

3. При пластичних деформаціях атоми зміщуються на величини, більші за міжатомні, і після зняття зовнішніх сил залишаються зміщеними. Відстані між атомами не змінюються – отже, щільність металу не змінюється.

4. Для початку переходу атомів у нові стани рівноваги необхідна певна величина діючих напружень, залежна від величин міжатомних сил і характеру взаємного розміщення атомів (типу кристалічних решіток, наявності й розміщення домішок, форми та розмірів зерен полікристала тощо).

Вирішальний вплив на пластичність чинять дефекти кристалічної будови: точкові та лінійні.

*Точкові дефекти* мають малі розміри (порядок атомних діаметрів) у всіх вимірах:

а) вакансії (дефекти Шоттки);

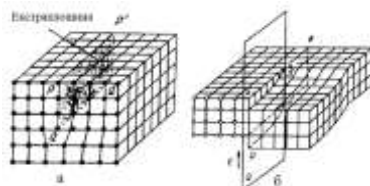


Рисунок 4.2 – Лінійні дефекти:

- а) крайова дислокація;
- б) гвинтова дислокація

б) дислоційовані атоми (дефекти Френкеля);

в) домішкові атоми у вузлах і в міжвузлах кристалічних решіток.

*Лінійні дефекти* мають малі розміри у двох вимірах і значну протяжність у третьому – дислокації (лат. *dislocation* – зсув).

*Поверхневі дефекти* мають малу товщину і значні розміри у двох інших вимірах: місця стику двох орієнтованих ділянок кристалічних решіток (межі зерен, фрагментів

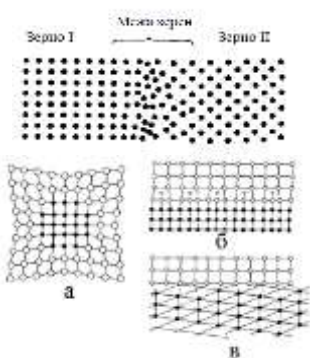


Рисунок 4.3 – Поверхневі дефекти: а) будова зерен і меж між ними; б) схема міжфазних меж; в) схема малокутової межі між зернами

зерна).

Сусідні зерна за своєю кристалічною будовою мають неоднакову просторову орієнтацію решіток – повернуті одне до одного.

Будова меж зерен вагомо впливає на властивості металу.

Механізм пластичного деформування (ПД) металу базується на двох аспектах:

1. Основним механізмом пластичного деформування є

внутрішньозеренний зсув одних частин кристала щодо інших шляхом ковзання і двійникування.

2. Деформування відбувається не шляхом одночасного зсуву цілих атомних площин, а шляхом поступового переміщення дислокацій.

Під час руху дислокації через весь кристал відбувається зсув верхньої і нижньої його частин лише на одну міжатомну відстань.

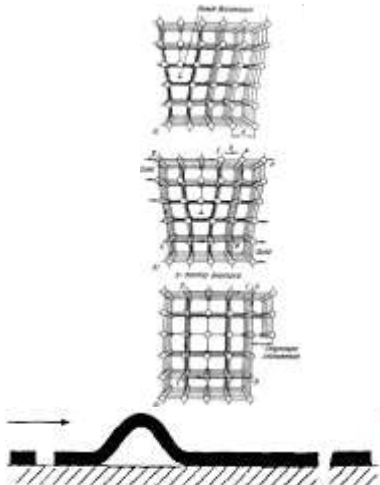


Рисунок 4.5 – ПД шляхом послідовного переміщення дислокації в простих кубічних решітках та умовна схема руху дислокацій

Унаслідок переміщення дислокація виходить на поверхню кристала і зникає. На поверхні залишається сходинка ковзання.

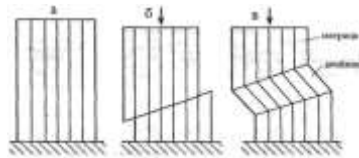


Рисунок 4.4 – Способи деформування кристала: а) ковзанням; б) двійникуванням

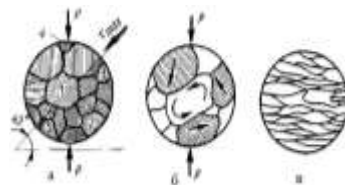


Рисунок 4.6 – а) полікристалічна будова металу; б) міжкристалітна деформація; в) деформовані кристаліти

Після пластичного деформування кількість дислокацій збільшується до 1 млн кілометрів дислокацій в  $1 \text{ см}^3$ .

## 4.2. Вплив факторів на процеси деформування і руйнування металів

На процеси деформування і руйнування металів впливають: схема навантаженого стану, хімічний і фазовий склад, температура, швидкість деформування.

*Ковкість* – це властивість металу змінювати свою форму під дією ударів або тиску, не руйнуючись. Ступінь ковкості залежить від *пластичності* та *опору деформуванню*. У ковких Ме відносно висока пластичність і низький опір деформуванню.

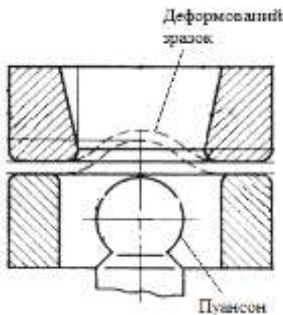


Рисунок 4.7 – Одна зі схем визначення пластичності – випробування листа до 2 мм на витяжку сферичної лунки за Еріксоном

*Пластичність* ( $\delta$ ) – подовження при розриванні):

- здатність матеріалу незворотно змінювати свою форму й розміри під час деформування.

Пластичність прямо залежить від хімічного складу матеріалу.

З підвищенням вмісту вуглецю в сталі пластичність падає.

Олово, сурма, свинець,

сірка, розміщуючись по межах зерен, зменшують пластичність.

Неоднорідність мікроструктури знижує пластичність.

Дрібнозернисті метали пластичніші за крупнозернисті.



Метал зливків менш пластичний, ніж метал прокатоної або кованої заготовки (лита структура більш неоднорідна і дефектна).

*Опір деформуванню* ( $\sigma_S$ ) – сума внутрішніх сил, що перешкоджають формозміні. Опір деформуванню залежить від межі текучості  $\sigma_T$ , межі міцності  $\sigma_B$  та умовної межі текучості  $\sigma_{0,2}$ . На опір деформуванню впливають температура, швидкість і ступінь деформування, характер напруженого стану, тертя.



Рисунок 4.9 – Деформація розтягування

одночасно.

*Вплив характеру напруженого стану при деформуванні.*

Найбільша пластичність спостерігається при всебічному стисканні, оскільки при цьому вся деформація відбувається за рахунок внутрішньозеренного, а не міжзеренного деформування. Найнижча – при всебічному розтягуванні.

*Вплив швидкості деформування на опір деформуванню:*

- при гарячій обробці з підвищенням швидкості деформування збільшується опір деформуванню, тому що рекристалізація не встигає пройти повністю;

- при холодному деформуванні зміна швидкості деформування не чинить помітного впливу на опір деформуванню, хоча теоретично цей вплив можливий.

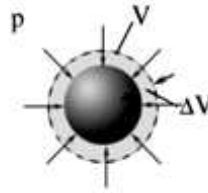


Рисунок 4.8 – Деформація всебічного стискання

*Вплив температури на опір деформуванню.*

З підвищенням температури всі характеристики міцності металу, отже й опір деформуванню, знижуються. У інтервалі фазових перетворень монотонність залежності порушується, оскільки перетворення проходять не у всіх зернах одночасно.

*Вплив ступеня деформації на опір деформуванню:*

- при холодному деформуванні зі зростанням ступеня деформування опір деформуванню збільшується;
- при гарячому деформуванні враховується сумісний вплив швидкості, ступеня деформування і температури.

*Вплив тертя при деформуванні* на опір деформування істотний – контактне тертя (під тиском до 2500 МПа на поверхні) змінюється від умов обробки, швидкості деформування, матеріалу інструменту, температури, змащування тощо. Це також викликає нерівномірність течії металу.

### 4.3. Температурно-швидкісні умови пластичного деформування

Характер пластичної деформації залежить від співвідношення процесів зміцнення і знеміцнення (рекристалізації). Розрізняють деформації: холодну, гарячу, неповну холодну, неповну гарячу.

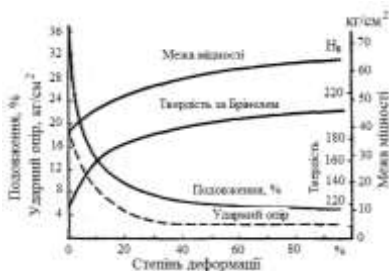


Рисунок 4.10 – Вплив холодної деформації на механічні властивості низьковуглецевої сталі

Холодне ПД проходить при температурах, нижчих від температури рекристалізації ( $T_r$ ). Зерна видовжуються, утворюється волокниста структура (текстура), збільшується кількість дислокацій, що підвищує міцність, пружність та твердість металу – явище наклепу. Наклеп може бути усунуто відпалюванням.

#### Холодна ОМТ

Холодне ПД проходить при температурах, нижчих від температури рекристалізації ( $T_r$ ). Зерна видовжуються, утворюється волокниста структура (текстура), збільшується кількість дислокацій, що підвищує міцність, пружність та твердість металу – явище наклепу. Наклеп може бути усунуто відпалюванням.

### Волокнистість

структури виникає від витягування в напрямку течії металу неметалевих краплень на межах зерен. Волокнистість істотно впливає на механічні властивості й не знімається термічною обробкою.

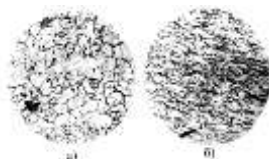


Рисунок 4.11 – Мікроструктура низьковуглецевої сталі: а – до холодної деформації; б – після холодної деформації

### Процеси під час нагрівання пластично деформованого металу

При нагріванні наклепаної сталі:

1. Спочатку при температурі  $0,25-0,3T_{пл}$  відбуваються зняття напружень так усунення спотворень кристалічних решіток – процес повернення, (структура і властивості змінюються на 10 %).

2. Потім іде процес *рекристалізації сталі* – ріст нових, не спотворених зерен завдяки уламкам старих – починається при температурі  $T_r$  у дві стадії:

- первинна (рекристалізація обробки) полягає в утворенні й рості нових зерен завдяки старим (ділянки 1–2). Структура сталі в кінці цієї стадії складається з нових, дрібних, рівновисних зерен. Процес термообробки для первинної рекристалізації має назву *рекристалізаційного відпалювання* і потрібен для отримання початкових (до п/д)



Рисунок 4.12 – Нагрівання наклепаного металу

властивостей. Температура рекристалізації для чистих металів становить близько  $0,4T_{пл}$ ;

- збиральна – коли нові зерна, продовжуючи ріст, поглинають сусідні, збільшуються у розмірах, що робить сталь крихкою.

### Гаряча ОМТ

Гаряча деформація – деформація, вища за температуру рекристалізації (для чистих  $Me T_{рк} \approx 0,4T_{пл}$ ), після якої метал не набуває зміцнення. Рекристалізація встигає пройти повністю, нові рівновісні зерна повністю замінюють деформовані зерна, спотворення кристалічних решіток відсутні.

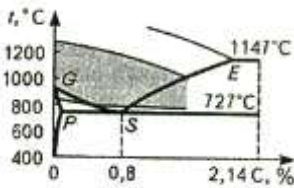


Рисунок 4.13 – Нагрівання для гарячої обробки тиском

Гаряча обробка металів тиском має переваги:

- складові металу розподіляються більш рівномірно, ніж до обробки;

- зменшуються розміри зерен, що призводить до поліпшення механічних властивостей;

- метал стає більш «суцільним» унаслідок зварювання та спресовування газових порожнин і нещільностей.

### Неповна холодна та неповна гаряча деформація

При неповній холодній деформації рекристалізації не відбувається, але проходять процеси повернення. Температура деформації дещо вища за температуру повернення, а швидкість деформації менша від швидкості повернення. Залишкові напруження значною мірою знімаються, інтенсивність зміцнення знижується.

Неповна гаряча деформація характеризується незавершеною процесу рекристалізації, оскільки її швидкість недостатня порівняно зі швидкістю деформації. Частина зерен залишається деформованою і метал зміцнюється. Виникають значні залишкові напруження, які можуть призведе-

сти до руйнування. Така деформація найбільш ймовірна за температури, що дещо перевищує температуру початку рекристалізації. Її потрібно уникати при обробці тиском.

#### 4.4. Вплив обробки тиском на макроструктуру та властивості виробу

Як уже зазначалося, волокна, утворені пластичним деформуванням металу, істотно впливають на механічні властивості в різних напрямках, викликаючи явище анізотропії.

Правильне розміщення волокон при обробці тиском дозволяє істотно підвищити механічні властивості виробу.

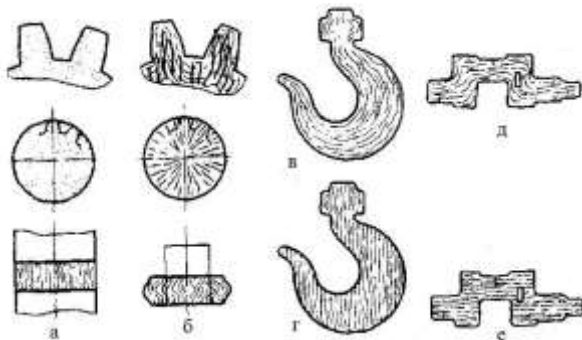


Рисунок 4.14 – Вплив перерозподілу волокон у металі після обробки тиском : а, г, е – неправильно (лише шляхом механічної обробки заготовки); б, в, д – правильно (шляхом попереднього пластичного деформування заготовки)

Пластична обробка металів переривчастою дією універсального або спеціального інструменту (штампу) для надання тілу заданої форми і розмірів називається в першому випадку куванням, а в другому – штампуванням.

Унаслідок кування (штампування) волокниста макроструктура, що була в заготовці (прокат), змінює напрям і орієнтується за течією металу по формі виробу – «огинає» його контури. Перерізувати волокна вкрай небажано.

Ступінь «опрацювання» початкової структури в поковці характеризують коефіцієнтом (ступенем) уковки, що показує, в скільки разів змінився початковий переріз:

$$K = F_0 / F_1,$$

де  $F_0$  і  $F_1$  – велика і менша площі поперечних перерізів у якому-небудь напрямі до і після деформації.

З підвищенням уковки механічні властивості металу у напрямі проходження металу підвищуються до відомої межі.

К:

для злиwkів 2,5-3;

для прокату 1,1-1,3;

для сталей карбідного класу 10-12.

Поковки, як правило, відрізняються від деталей, для яких вони є заготовками, на величину припусків на механічну обробку, технологічних припусків (напусків, ухилів тощо). Чим досконаліша технологія, тим менші припуски.

Для зіставлення різних технологій за їх ефективністю застосовують показник точності (досконалості) поковки  $K_{вм} = K_{вт} \cdot G$ , що складається, – коефіцієнт використання металу:

$$K_{вт} = G_{д} / G_{п},$$

де  $G_{д}$  і  $G_{п}$  – маса готової деталі й поковки та коефіцієнт виходу «придатного»:

$$G = G_{п} / G_{з},$$

де  $G_{з}$  – маса початкової заготовки.

$K_{вт}$ :

- кування  $\leq 0,3$ ;  
 - горячого штампування 0,5-0,8;  
 - холодного штампування 0,8-1.

G при куванні:

- із зливка 0,3-0,7;  
 - із прокату 0,7-0,9;  
 - при штампуванні 0,7-0,9.

$K_{вм}$ :

- при куванні 0,02-0,3;  
 - при штампуванні 0,6-0,9.

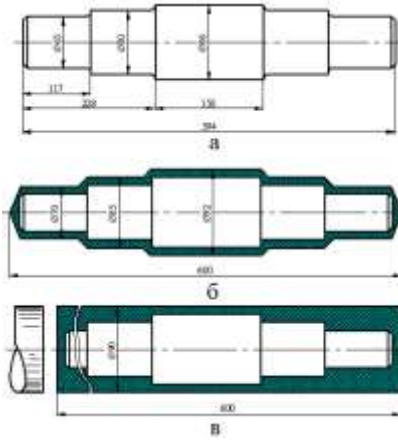


Рисунок 4.15 – Схема отримання деталі (а) з поковки (б) та з прокату (в)

### Нагрівання металу перед обробкою тиском

Використовують печі камерні, методичні, індукційно-го, контактного нагрівання.



Рисунок 4.16 – Камерна піч

#### *Камерні печі*

Бувають полуменевого нагрівання та електронагрівальні. Є періодичної дії для одиничного виробництва або для габаритних заготовок. Тут заготовка (и) залишається нерухомою упродовж нагрівання.

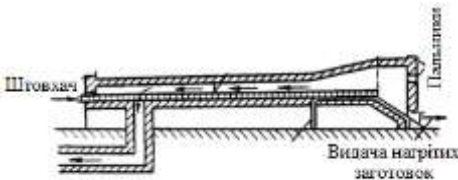


Рисунок 4.17 – Методична піч

#### *Методичні печі*

Бувають полуменевого нагрівання та електронагрівальні. Є безперервної дії, коли заготовки ру-

хаються всередині печі від завантажувального вікна до вивантажувального і поступово прогриваються.

### *Печі індукційного нагрівання*

Це високошвидкісні нагрівачі негабаритних заготовок за рахунок виникнення вихрових струмів у електромагнітному полі високої частоти. Потребують складного обладнання і налаштування.

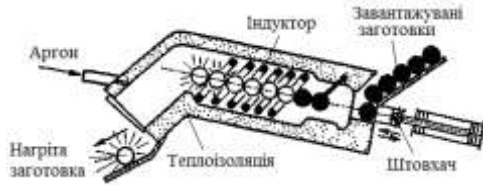


Рисунок 4.18 – Індукційний нагрівальний пристрій

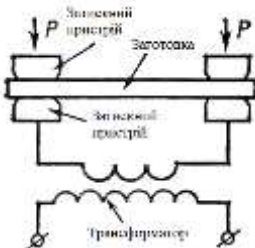


Рисунок 4.19 – Схема електроконтактного нагрівання крізь неї струму високої сили.

### *Печі електроконтактного нагрівання*

Високошвидкісне нагрівання негабаритних заготовок відбувається за рахунок внутрішнього електричного опору заготовки при пропусканні

### **Класифікація видів обробки металів тиском**

Є методи отримання заготовок постійного поперечного перерізу по довжині – прокатування, волочіння, пресування.

Є методи отримання заготовок змінного поперечного перерізу по довжині – кування, штампування.



*Прокатування* – ротаційне обтискання валками, що обертаються.

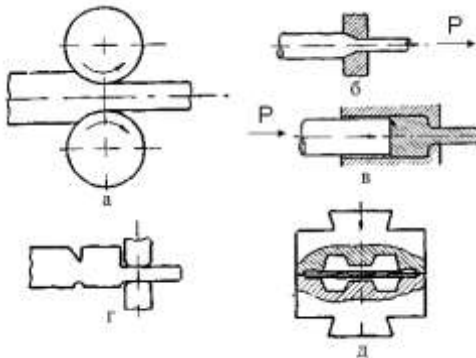


Рисунок 4.20 – Схеми обробки заготовок тиском: а – прокатування; б – волочіння; в – пресування; г – кування; д – штампування металу, що призводить до його розтікання в порожнині інструмента.

Обов'язковою умовою, що вирізняє прокатування з-поміж інших процесів, – це рушійний пристрій, що надає обертового моменту валкам.

Прокатуванню піддають до 90 % усього об'єму сталі, що виплавляється, і більшу частину кольорових металів.

## 4.5. Характеристика прокатного виробництва.

### Схеми прокатування

Деформування під час прокатування відбувається у прокатному стані. Класифікують схеми прокатування за взаємним розміщенням осі валків та заготовки. Розрізняють поздовжнє, поперечне і поперечно-гвинтове прокатування.

### Поздовжнє прокатування

Валки обертаються назустріч один одному, деформуючи заготовку, яка втягується в зазор між валками силою

*Волочіння* – витягування металу з порожнини інструмента.

*Пресування* – видавлювання металу з порожнини інструмента.

*Кування* – стискання між площинами інструмента.

*Штампування* – деформація металу

тертя (сила  $T$ ). Одночасно на заготовку діє сила тиску (сила  $N$ ).

Співвідношення між ним і визначатиме умову захвату металу валками:

$$tga < f$$

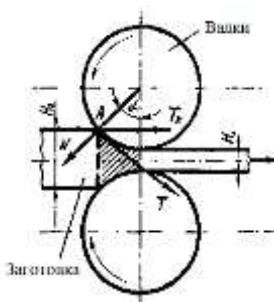


Рисунок 4.21 – Схема поздовжнього прокатування  
 $f$  – коефіцієнт тертя;  $\alpha$  – кут захоплення.

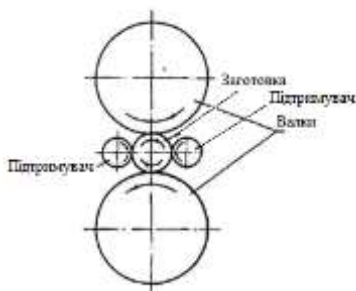


Рисунок 4.22 – Схема поперечного прокатування

При гарячому прокатуванні  $\alpha = 15-24^\circ$ , а при холодному  $\alpha = 3-8^\circ$ .

### Поперечне прокатування

Валки обертаються в один бік й осі їх паралельні, а заготовка деформується ними при обертання навколо своєї вісі.

За схемою поперечного прокатування виготовляють осі, вали (поперечно-клиновим прокатуванням), зубчасті колеса, зірочки тощо.

### Поперечно-гвинтове прокатування

Валки обертаються в один бік, осі їх розміщені під деяким кутом, а заго-

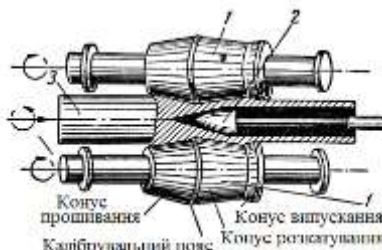


Рисунок 4.23 – Схема поперечно-гвинтового прокатування – отримання гільзи для безшовної труби

товка обертається й одночасно переміщується вздовж своєї осі.

За цією схемою виготовляють безшовні труби, кульки, втулки тощо.



Рисунок 4.24 – Схема отримання листового прокату на гладких валках

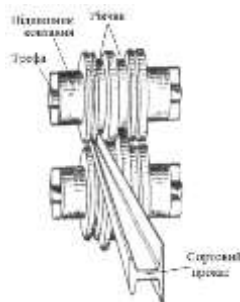


Рисунок 4.25 – Схема отримання сортового прокату на рівчакових валках

Залежно від профілю виробу, що прокатується, валки можуть бути:

- гладкі, використані для прокатування листів, стрічок;
- рівчакові (з калібрами) для виготовлення складних профілів.



Рисунок 4.26 – Сортамент прокату: 1 – квадрат; 2 – шестикутник; 3 – пруток; 4 – круг; 5 – труба; 6 – стрічка; 7 – лист; 8 – кутик; 9 – швелер; 10 – арматурна сталь

трикутник, еліпс у поперечному перерізі. Фасонний – кутик, швелер, тавр, двотавр, арматура тощо.

### Продукція прокатного виробництва

Це сортовий, листовий, трубний і спеціальний прокат.

*Сортовий* прокат є простим і фасонним.

Простий – круг, квадрат, шестикутник,

*Листовий* прокат є тонколистовим (покрівельна сталь, трансформаторна, електротехнічна), товстолистовий (резервуарна сталь, котельна, броньова). Є ще фольга і широкосмугова сталь.

*Трубний* прокат – це зварні й безшовні труби. Крім того виробляють труби фасонні й змінного перерізу.

*Спеціальний* прокат – зубчасті колеса, вагонні колеса, кулі, гвинти, шнеки, періодичні, гнуті профілі, кільця, осі, бандажі тощо.

#### **4.6. Технологія виробництва основних видів прокату**

Технологія отримання прокату має багато спільного і може бути узагальнена такою схемою:



Рисунок 4.27 – Загальна схема технологічного процесу прокатування

#### **Технологія отримання листового прокату**

Зливки масою до 45 т металу спочатку прокатують на обтискних станах: – слябінгах із довжиною бочки до

3000 мм. Отримують напівфабрикат – сляби ( $S = 300 \times 1600$ мм) для подальшого прокатування на заготовку для листів.

Сляб прокатують (після другого нагрівання) в товстий лист на станах із двома робочими клітями (чорною і чистою), розміщеними одна за одною. Перед чорною кліттю збивають окалину (невеликим обтиском і водою під тиском до  $12 \text{ МН/м}^2$ ).

Отримують *товстолистову* заготовку для обробки на листових станах.

Тонкі листи прокатують як гарячими, так і холодними. Катають у безперервних станах, що складаються з двох груп робочих клітей, – чорновому і чистовому.

Листи тонше 2 мм отримують холодним прокатуванням. Це забезпечує високу якість поверхні точність по товщині, проте потребує високої жорсткості валків, що забезпечується багатовалковими клітями, де лише два валка є робочими.

Після холодного прокатування матеріал відпалюють у захисних газах, обрізають кромки, розрізають.

### **Технологія отримання гнутих профілів**

Гнуті профілі отримують шляхом холодного згинання сталюго листа або стрічки (штрипсу). Штрипс отримують, розрізаючи листову сталь дисковими ножами.

Такі гнуті профілі отримують у багатоклітьовому стані шляхом послідовного згинання стрічки.

У будівництві використовують гнуті профілі у вигляді швелерів, деталей таврового перерізу. Ефективно використовувати гнуті профілі в огорожувальних будівельних конструкціях.



Рисунок 4.28 – Отримання гнутих профілів

## Технологія отримання сортового прокату

Вихідною заготовкою при прокатуванні є сталеві зливки масою до 60 т.

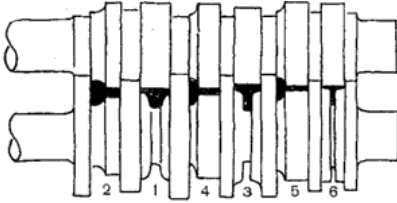


Рисунок 4.29 – Схема калібрування таврового профілю у багаторівчачковому валку, цифри показують послідовність калібрів

( $S = 450 \times 450$  мм); вони є напівфабрикатом для подальшого прокатування сортових профілів.

Блюми потім прокатують на сортових станах, у яких заготовка послідовно проходить через ряд калібрів (калібрується). Після прокатування отримані вироби відрізають на необхідні за довжиною і правлять (рихтують, калібрують) у холодному стані.

## Технологія виготовлення труб

Розрізняють труби шовні (загального призначення) і безшовні (для високонавантажених конструкцій, можуть витримувати високий тиск).

### *Технологія безшовних труб*

Першою операцією отримання безшовних труб є прошивання – утворення отвору в круглому прокаті. Заготовка завдяки трьом валкам, що мають осі, розташовані під кутом, набуває одночасно обертальної і поступальної ходи, виникають радіальні розтягувальні напруження, які полегшують прошивання отвору оправкою, що встановлена на шляху руху заготовки.

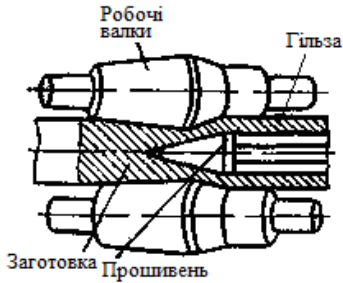


Рисунок 4.30 – Схема поперечно-гвинтового прокату (отримання гільзи безшовної труби)

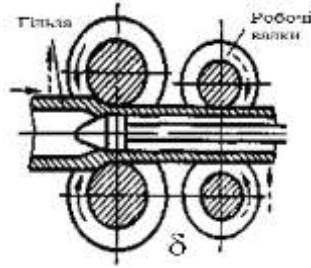


Рисунок 4.31 – Автоматичний стан для розкатування гільзи безшовної труби

Наступною операцією є прокатування отриманої заготовки-гільзи в трубу потрібного діаметра і товщини стінки на автоматичних і пілігримових (періодичних) станах – заготовці задають зворотно-поступальний рух із прокручуванням.

Витягування труби при розкатуванні на пілігримових станах становить 10-14, в той час як на автоматичних станах витяжка не перевищує 5.

Остаточно труба калібрується незначним обтисканням.

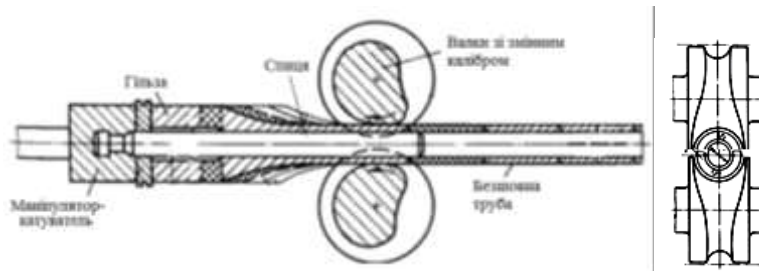


Рисунок 4.32 – Пілігримовий стан

### Технологія шовних труб

Шовні труби одержують із плоскої заготовки – стрічки (штрипса) або з листів, ширина яких відповідає довжині кола труби.





Одержана заготовка надходить на колесопрокатний (розкатувальний) стан, де розкатують диск, розкатують обід і остаточно формують гребінець на ободі колеса.

### *Виготовлення кілець і бандажів*

Початковою заготовкою є прокат круглого перетину. Після нагрівання заготовку осаджують і прошивають отвір.

Одержана заготовка надходить на кільцезрозкатувальний стан, де кільце розкатують на потрібний діаметр (для підшипникових кілець формують також бігову доріжку для кульок).

### *Прокатування періодичних профілів*

Періодичний профіль – прокат зі змінним поперечним перерізом. Застосовують його як фасонну заготовку для подальшого штампування і як заготовку під остаточно механічну обробку.

Періодичні профілі виготовляють:

- поперечним (поперечно-клиновим) прокатуванням;
- поперечно-гвинтовим прокатуванням;
- прокатуванням на періодичних станах.



Рисунок 4.35 – Поперечно-клинове прокатування осі

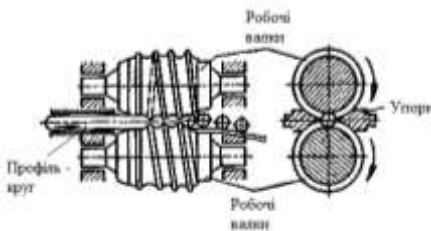


Рисунок 4.36 – Схема отримання заготовок - кульок

### *Виготовлення заготовок - кульок*

Технологія отримання кульок базується на обробці за схемою поперечного чи попе-

речно-гвинтового прокатування.

Валки обертаються в один бік. Рівчаки валків відповідної форми зроблено по гвинтовій лінії.

Заготовка при прокатуванні набуває обертальної та поступальної ходи.

#### 4.7. Технологія отримання виробів пресуванням

При пресуванні метал витискають пуансоном із контейнера через калібрований отвір у матриці, що відповідає перерізу отримуваного виробу.

Пресуванням виготовляють суцільні й порожнисті вироби також складного профілю з алюмінію, міді, титану, цинку, з вуглецевих і легованих сталей, оскільки діє схема всебічного стискання.

Пресування інколи є єдиним способом виготовлення виробів складного профілю.

Пресують, як правило, в гарячому стані двома методами:

- прямим пресуванням – напрямок виходу металу крізь отвір у матриці збігається з напрямком руху пуансона.

- зворотним пресуванням – напрямок виходу металу крізь отвір у матриці не збігається з напрямком руху пуансона.

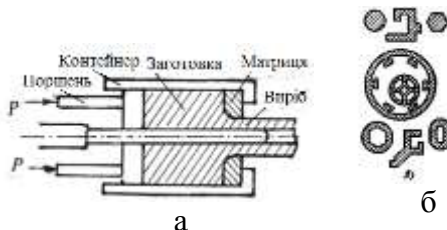


Рисунок 4.37 – Схема прямого пресування (а) та приклад пресованих профілів

## Технологія отримання виробів волочінням

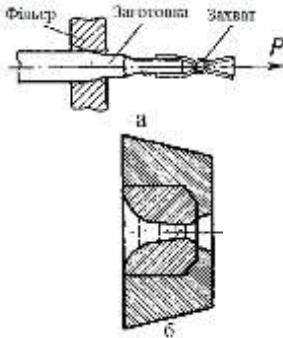


Рисунок 4.38 – Схема волочіння (а) та профіль отвору фільтера (б)

Волочіння пустотілих заготовок проводять на ланцюговому волочильному стані, простого суцільного перерізу – на барабанних.

## Кування

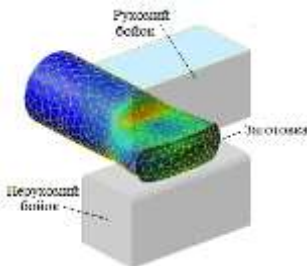


Рисунок 4.39 – Схема операції кування – «роздавання»

інструменту.

Заготовки, що отримують, називають поковками. Поковка відрізняється від деталі припуском.

При волочінні прокатні або пресовані заготовки протягують через отвір певного перерізу. Таким чином, дістають точних розмірів, високої якості поверхні отриманих виробів.

Інструментом волочіння є волочильна дошка (волока, матриця, фільтера). Волочінням отримують дріт діаметром 0,002-10 мм, капілярні трубки, калібровані прутки та фасонні профілі.

Кування – вид гарячої обробки металів тиском, при якому метал деформується за допомогою універсального інструменту. Нагріту заготовку укладають на нижній боек і універсальним інструментом – верхнім бойком послідовно деформують на окремих ділянках заготовки.

Метал вільно тече в боки, не обмежені робочими поверхнями

Куванням одержують поковки в одиничному виробництві, або великогабаритні.

До операцій кування відносять: осадження, висадження, прошивання, згинання, протягування, кування на круг, роздавання, протягування на оправці, розкатування на оправці, рубання, скручування, передавання металу тощо.

У разі складної форми поковки, при куванні застосовують підкладений інструмент – кільця, універсальні штампи тощо.

При куванні застосовують машини динамічної дії – молоти та машини статичної дії –преси.

У молотах заготовка деформується енергією падіння рухомої частини молота – баби (повітряні) й, додатково, тиску пари (пароповітряні). Молоти завдають удари енергією до 200 кДж.

У пресах деформування заготовки відбувається за рахунок енергії тиску рідини (в гідравлічних), важелів (у кривошипних) тощо.

Преси розвивають зусилля від 5 до 100 МН.

### **Спеціальні способи кування**

До спеціальних способів кування відносять обробку заготовок на радіально-кувальних (чотирибойкових) машинах, ротаційно-кувальних машинах.

*Радіально-кувальні (чотирибойкові) машини РКМ*

Таке компонування бойків створює умови, схожі на всебічне обтискання і дозволяє працювати з важкодеформованими матеріалами.

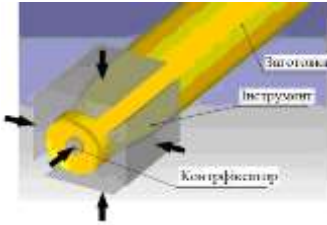


Рисунок 4.40 – Схема радіально-кувальної машини РКМ

При куванні двома бойками (за традиційною технологією) після кожного обтиску є значне бічне розширення металу, що знижує інтенсивність витяжки заготовки у напрямі її подовжньої осі. Це призводить до значної витрати часу на кантування, додаткові операції.

За рахунок чотирибічного обтискання бічне розширення металу мінімальне. Тому потрібно менше циклів обжимань і кантівок заготовки. Це приводить до підвищення продуктивності процесу кування.

### *Ротатійно-кувальна машина*

Процес обтискання характеризується часто повторюваними ударами бойків (до 800 на хвилину) з невеликою амплітудою під час обертання ротора по виступах на статорі. За схемою обтиску нагадує радіально-кувальну машину.

Обробляються складнодеформовані матеріали – швидкорізальні, леговані сталі; металокераміка тощо.

Типовими поковками, що виготовляються радіальним обтисканням, є тіла обертання: конічні вали, спиці, голки, труби з відтягнутими на конус кінцями тощо.

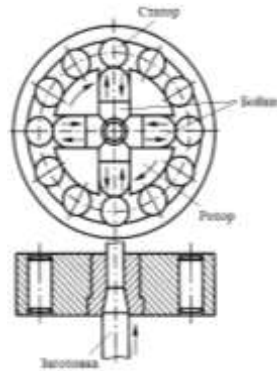


Рисунок 4.41 – Схема ротатійно-кувальної машини

## Технологія отримання заготовок штампуванням

Основною перевагою штампування є отримання однакових за формою, розмірами заготовок у значній кількості в один (декілька) рухів спеціального інструмента (штампа). Штампуванням одержують заготовки в серійному виробництві, оскільки штамп є складним і дорогим інструментом.

Розрізняють штампування об'ємне і листове. При об'ємному штампуванні вхідною заготовкою є зливки або сортовий прокат (поковка). При листовому штампуванні вхідною заготовкою є листовий прокат.

Об'ємне і листове штампування може бути холодним і гарячим.

Переважно для чорних металів при об'ємному штампуванні використовується нагрівання до температур, коли знімається зміцнення від ПД. Для листових чорних металів при листовому штампуванні нагрівання застосовують при товщині заготовки вищій, за 10 мм.

### Гаряче об'ємне штампування (ГОШ)

Формоутворення при ГОШ здійснюється примусовим перерозподілом металу нагрітої заготовки в спеціальному інструменті – штампі, що складається із частин – напівматриць. Течія металу обмежується



а)



б)

Рисунок 4.42 – Заготовки, отримані листовим (а) та об'ємним (б) штампуванням

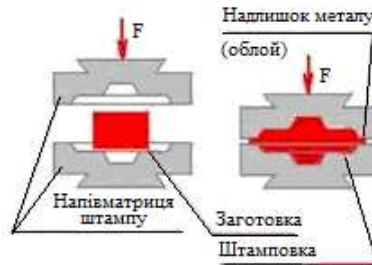


Рисунок 4.43 – Схема об'ємного штампування

поверхнями порожнини штампа. Заготовка, поміщена в робочу порожнину штампа, пластично деформується, набуваючи конфігурації та розмірів порожнини.

Заготовки, що отримують, називають штампованими поковками. Штампована поковка на відміну від кованої має менші припуски на механічну обробку.

Розрізняють штампування у відкритих і закритих штампах.

*Штампуванням у відкритих штампах* одержують поковки з облоєм у місці рознімання штампа. Метод має недоліки: витрати металу на облой, введення операцій на обрізання облою, додаткові енергетичні витрати.

*Штампування в закритих штампах* – спосіб одержання штамповок без відходів з доброю мікроструктурою з навіть малопластичних матеріалів завдяки всебічному тиску. Проте потрібен точний розрахунок об'єму і стійкість штампів невисока.

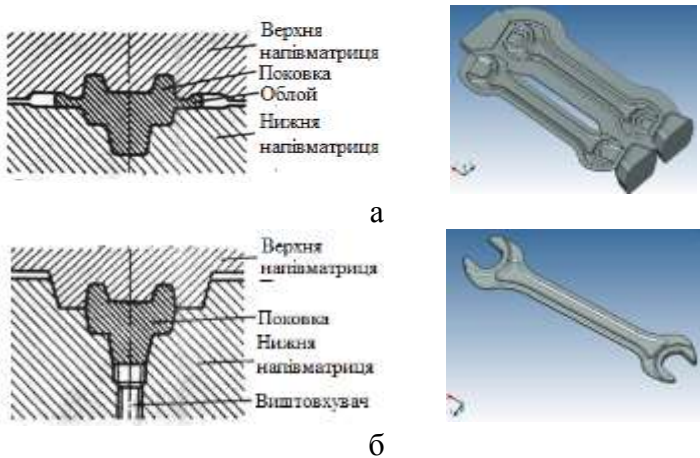


Рисунок 4.44 – Відмінності відкритого та закритого штампування

Спосіб гарячого об'ємного штампування обирають з урахуванням програми випуску і характеристик оброблюваного матеріалу. Штампи виготовляють із дорогої штампової сталі, легованої хромом, нікелем, вольфрамом, молібденом, ванадієм після т/о. Стійкість гарячих штампів невелика – 3000-10000 шт. поковок, тому гаряче штампування вигідне лише для достатньо великих партій деталей (тисяч і десятків тисяч штук).

Складні поковки (зі змінами перерізів за довжиною, вигнутою віссю і т. п.) штампують за декілька переходів у складних багаторівчakovих штампах.

### **Обладнання для штампування**

Штампування здійснюють на різних машинах: штампувальних молотах, кривошипних гарячештампованих пресах, гідравлічних і фрикційних пресах, горизонтальнокувальних і горизонтально-згинальних машинах, ковальських вальцях тощо. Штампувальні молоти відрізняються від ковальських більшою жорсткістю – шабот зв'язаний зі станиною.

### **Штампування видавлюванням**

Характеризується тим, що метал видавлюється із замкненої порожнини (матриці) поршнем (пуансоном).

Для видавлювання зазвичай застосовують високопластичні метали – алюміній, мідь. У більшості випадків видавлювання проводять без нагрівання.

При видавлюванні отримуємо напівфабрикат змінного перерізу, що потребує подальшої обробки, – бляшанки, труби для фарб, паст тощо (на відміну від пресування, коли отримуємо профіль сталого перерізу за довжиною).

Заготовкою слугує рондель – круг, вирубаний з листа.

Залежно від течії металу розрізняють штампування з прямим, зворотним, бічним і комбінованим видавлюванням.



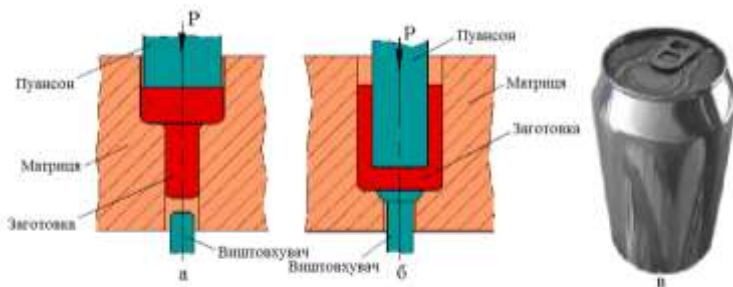


Рисунок 4.45 – Штампування видавлюванням: а – пряме; б – зворотне; в – виріб

### Штампування висадженням

*Висадження* – різновид штампування, коли в штампі осаджується частина заготовки або утворюється в ній місцеве потовщення необхідної форми. Вхідна заготовка (напівфабрикат) – дрід або прутки.



Рисунок 4.46 – Схема штампування висадженням (а) та отримувані заготовки (б)

Прості заготовки з низьковуглецевої нелегованої сталі висаджують у холодному стані.

У разі складної форми штампування проводять у декілька переходів і використовують нагрівання (індукційне, контактне).

Штампуванням на холодновисаджувальних автоматах виготовляють кріплення (метизи) – гвинти, болти, шпильки.

### Холодне штампування

Холодне штампування – це процес формоутворення виробів у штампах за кімнатної температури.

Основними різновидами холодного об'ємного штампування є холодне видавлювання, холодне висадження і холодне об'ємне формування (штампування) за схемами, аналогічними ГОШ.

Зважаючи на зміцнення металу внаслідок наклепування, холодне штампування проводять для складних деталей у декілька переходів, із застосуванням рекристалізаційного відпалювання, застосовують змащення.

Дозволяє отримати точні розміри деталі й високу якість поверхні, що в деяких випадках не потребує механічної обробки.

### Спеціалізовані процеси об'ємного штампування

До спеціалізованих процесів штампування відносять вальцювання, калібрування, ізотермічне штампування, рідке штампування

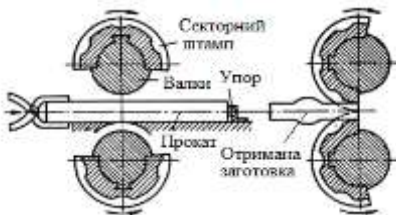


Рисунок 4.47 – Схема штампування на кувальних вальцях

### Штампування на кувальних вальцях (вальцювання)

Це спрощена схема штампування, що нагадує подовжнє прокатування двома валками із закріпленими секторними штампами. Застосовується для невідповідальних виробів (гайкові ключі, лещата тощо), або для отримання заготовок для подальшої обробки на горизонтально-кувальній машині тощо.

### Калібрування або карбування

У такий спосіб підвищують точність і поліпшують якість поверхні штампованих поковок. При калібруванні встановлюється мала (не більше 5-10 %) ступінь деформації (зазвичай без нагрівання).

### **Ізотермічне штампування**

Штампування відбувається в закритих або відкритих штампах, у робочій зоні яких підтримується температура 800-1100 °С. Ця технологія знайшла широке застосування для штампування магнієвих, алюмінієвих, а також титанових сплавів.

Завдяки однорідній дрібнозернистій структурі ізотермічне штампування в умовах надпластичності дозволяє одержати деталь за один перехід.

Це знижує витрату матеріалу, на 25-30 % зменшує трудомісткість механічної обробки, підвищує надійність і ресурс виробів.

### **Рідке штампування**

Проводять у штампах, обладнаних порожнинами для заливання рідкого металу і збереження його надлишків. Спосіб схожий на лиття під тиском, проте тут тиск практично відсутній в заключній фазі.

Виготовляють вироби зі сплавів (наприклад, алюмінієвих АК), що володіють підвищеними механічними властивостями, але низькою рідкоплавкістю.

Технологія рідкого штампування дозволяє:

- знизити витрату металу на 30-40 %;
- одержати щільну і дрібнозернисту структуру без дефектів і газової пористості;
- підвищити механічні й фізичні властивості матеріалу на 15-20 %.

### *Листове штампування*

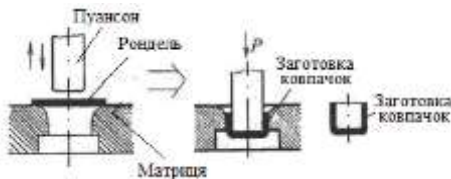
Вхідною заготовкою при листовому штампуванні є листовий метал, і товщина стінок отриманого виробу, неістотно відрізняється від товщини початкової заготовки.

Заготовки до 20 мм штампують без підігрівання.

Розрізняють формоутворювальні (згинання, витягування, відбортовування, обтискання) і розділові (відрізан-

ня, вирубування і прорубування) операції листового штампування.

Робочим інструментом при листовому штампуванні є



штамп, що має пуансон (виступаюча частина штампа) і матрицю (частина штампа, що має заглибину або отвір).

Рисунок 4.48 – Листове штампування (витягування)

Листовим штампуванням виготовляють втулки, посуд, монети, гільзи, облицювання автомобілів тощо.

Найбільш застосовувані для листового штампування кривошипні преси.

### Спрощені схеми листового штампування

До спрощених способів листового штампування відносять: штампування еластичним середовищем, штампування вибухом, електрогідравлічне штампування, електромагнітне штампування, давильні роботи.

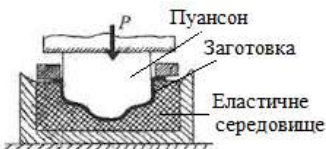


Рисунок 4.49 – Штампування еластичним середовищем

### *Штампування еластичним середовищем*

Замість металевого пуансона або матриці застосовують відповідний еластичний матеріал – гуму або краще поліуретан. Спосіб є актуальним для невідповідальних виробів, що мають велику кількість ребер жорсткості тощо, – каністри, баки тощо.

### *Штампування вибухом та електрогідравлічне*

Це високошвидкісна обробка. Застосовують для низькопластичних матеріалів

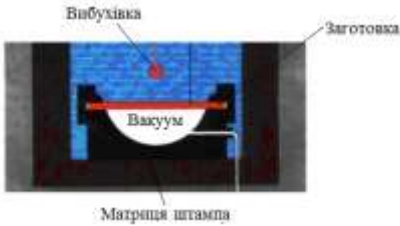


Рисунок 4.50 – Схема штампування вибухом

або для габаритних виробів. Роль пуансона виконує вода, тому конструкція штампа доволі проста.

Над заготовкою на визначеній висоті у воді підвешують заряд з детонатором. Від вибуху заряду утвориться ударна хвиля високого тиску. При електрогідравлічному штампуванні через воду пропускають потужний електричний розряд, аналогічний до вибуху.

Над заготовкою на визначеній висоті у воді підвешують заряд з детонатором. Від вибуху заряду утвориться ударна хвиля високого тиску.

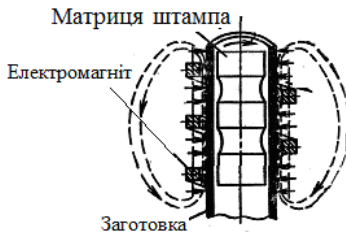


Рисунок 4.51 – Схема електромагнітного штампування

### Електромагнітне штампування

Електрична енергія перетворюється в механічну при імпульсному розряді через соленоїд і утворення магнітного поля.

### Давильні й давліно-розкатувальні роботи

Давильними процесами одержують порожнисті деталі опуклої конфігурації дуже складної форми.

Виконуються на спеціальних верстатах при обертальному русі заготовки (деталі) або інструменту.

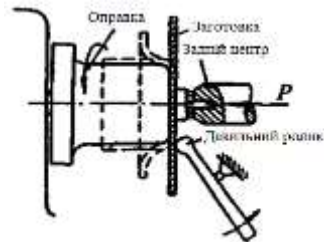


Рисунок 4.52 – Схема давліно-розкатувальних робіт

Заготовку встановлюють симетрично між оправкою та упором і затискають. Давильний ролик тисне на заготовку, що обертається, послідовно змінюючи її форму. Після закінчення процесу готова деталь має форму оправки.

#### **Питання до розділу 4**

1. Опишіть вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на процеси деформування і руйнування металів.

2. Опишіть зміну структури і властивостей при пластичному деформуванні металів.

3. Наведіть класифікацію (схема) нагрівальних пристроїв для нагрівання заготовок і дайте їм коротку характеристику.

4. Наведіть класифікацію продукції прокатного виробництва.

5. Вкажіть схему поздовжнього прокатування, наведіть приклади деталей що отримують за такою схемою.

6. Вкажіть схему поперечного прокатування, наведіть приклади деталей що отримують за такою схемою.

7. Наведіть технологічну схему виробництва сортового прокату.

8. Наведіть технологічну схему виробництва листового прокату.

9. Наведіть технологічну схему виробництва безшовних труб.

10. Наведіть технологічну схему виробництва шовних труб.

11. Опишіть основні технології виготовлення спеціального прокату.

12. Опишіть технологію отримання профілів волочінням.

13. Опишіть технологію отримання профілів пресуванням.

14. Технологія отримання заготовок куванням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

15. Технологія отримання заготовок об'ємним штампуванням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

16. Технологія отримання заготовок штампуванням, видавлюванням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

17. Технологія отримання заготовок штампуванням, висадженням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

18. Технологія отримання заготовок листовим штампуванням. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

19. Спеціалізовані процеси об'ємного штампування. Застосовність, схеми, принцип роботи, переваги, недоліки.

20. Обладнання для кування та штампування. Відмітне та спільне. Переваги та недоліки.

## 5. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Технологія зварювання має на меті отримання суцільної заготовки нерознімним з'єднанням її з окремих частин. У такий спосіб можна отримати заготовку, наприклад великих розмірів, дістати яку суцільною відразу неможливо через відсутність габаритного технологічного обладнання.

### 5.1. Фізичні основи одержання зварного з'єднання

Процес зварювання має на меті отримання монолітного з'єднання шляхом установаження зв'язків між атомами деталей що зварюються на межі їх розділу, на кшталт тим, що діють у твердому тілі.

Для цього потрібно докласти певну енергію. Залежно від типу енергії розрізняють декілька класів зварювання.

При зварюванні плавленням (термічний клас) енергію для з'єднання атомів отримують шляхом нагрівання. Від-



Рисунок 5.1 – Класи зварювання

бувається розплавлення кромки заготовки, а в разі потреби – також присадного матеріалу. В результаті утворюється



ся загальна зварювальна ванна розплавленого матеріалу, що твердішає, як зварювальний шов.

При зварюванні тиском (механічний клас) енергію для з'єднання атомів отримуємо перетворенням механічної енергії. Заготовки з'єднуються шляхом спільної пластичної деформації з'єднувальних поверхонь при щільному контакті.

### 5.1.1. Термічний клас зварювання

Може бути електричним або хімічним, залежно від джерела тепла.

#### Електричне дугове зварювання

Джерелом теплоти при дуговому зварюванні є електрична дуга, що горить між двома електродами, – часто один електрод є заготовкою, що зварюється.

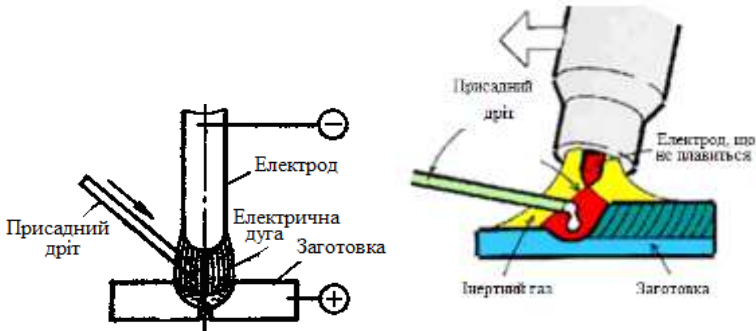


Рисунок 5.2 – Зварювання електродом, що не плавиться (вугільним, вольфрамовим)

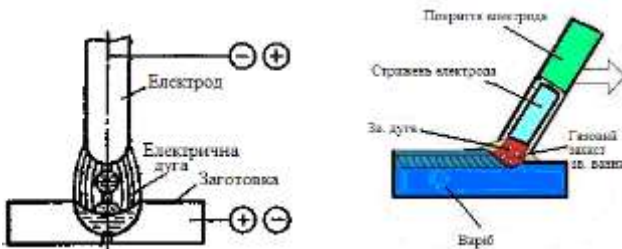


Рисунок 5.3 – Зварювання електродом, що плавиться (металевим)

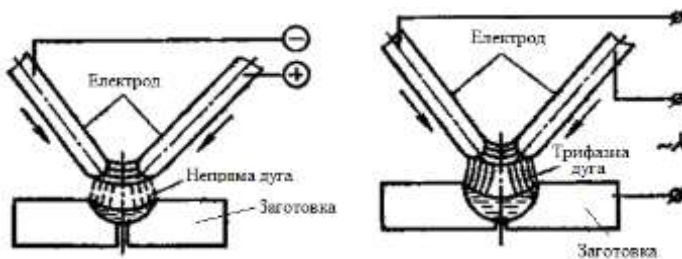


Рисунок 5.4 – Зварювання непрямою дугою, трифазною дугою

### Поняття про електричну дугу та її властивості



Рисунок 5.5 – Електрична дуга та її параметри

Дуга – потужний стабільний розряд електрики в іонізованій атмосфері газів і пари металу. Іонізація дугового проміжку відбувається під час запалювання дуги і безупинно підтримується в процесі її горіння.

Розрізняють пряму та зворотну полярність при зварюванні постійним струмом. Пряма полярність – електрод підключається до негативного полюса і служить катодом. Зворотна полярність – електрод підключається до позитивного і служить анодом.

### Електричні властивості дуги

Описуються статичною вольт-амперною характеристикою:

/ - характеристика падаюча (велико-крапельне перенесення металу);

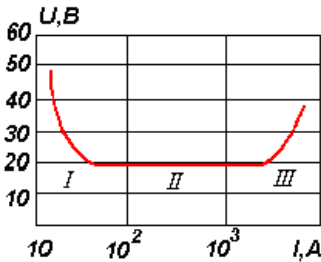


Рисунок 5.6 – Вольт-амперна характеристика дуги

плавким електродом, автоматичному під флюсом при підвищеній щільності струму.

Дуга з падаючою характеристикою нестійка, застосовується обмежено.

### Джерела зварювального струму

Для живлення зварювальної дуги потрібні джерела із спеціальною зовнішньою характеристикою (залежністю

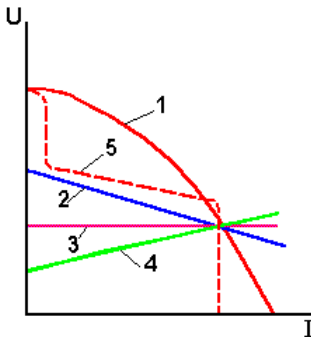


Рисунок 5.7 – Зовнішні характеристики джерел зварювального струму: 1 – падаюча; 2 – пологопадаюча; 3 – жорстка; 4 – зростаюча; 5 – «ідеальна»

// - жорстка: напруга практично не залежить від струму;

/// - зростаюча (дрібнокапельне перенесення металу).

«Жорстка» дуга – при ручному зварюванні, автоматичному під флюсом, неплавким електродом у середовищі захисного газу.

«Зростаюча» дуга – при газоелектричному зварюванні

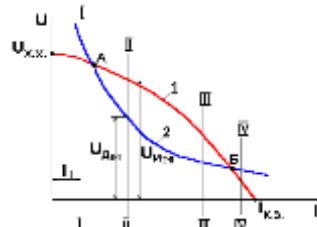


Рисунок 5.8 – Накладена характеристика дуги і падаюча характеристика джерела струму:  $U_{x.x.}$  – напруга холостого ходу (дуга не горить);  $I_{k.z.}$  – струм короткого замикання при запаленні дуги; А – точка запалення дуги, Б – точка стабільного горіння дуги

напруги на виході від струму): 1 – падаюча, 2 – пологопадаюча, 3 – жорстка і 4 – зростаюча.

Джерело струму вибирається залежно від вольт-амперної характеристики дуги відповідно до способу зварювання.

Основні вимоги до джерела зварювального струму:

- безпечність для зварювальника;
- стабільність горіння дуги;
- витримувати режим короткого замикання і регулювати струм дуги.

Застосовують джерела змінного струму (зварювальні трансформатори) і джерела постійного струму (зварювальні генератори та зварювальні випрямлячі).

### Ручне дугове зварювання

Зварювальне обладнання ручного дугового зварювання



Рисунок 5.9 – Зварювання металевим покритим електродом

- розкиснювальні;
- легувальні компоненти.

Під час ручного зварювання зварювальник маніпулює електродом, підтримуючи задану довжину дуги, подає електрод у дугу, а також рухає його вздовж заготовки.

складається з джерела живлення дуги, зварювальних дротів, електродотримача й електродів. Використовують металеві плавкі електроди з покриттям (обмазкою) з діаметром 1,6-12 мм і завдовжки 150-450 мм.

До складу покриття входять:

- стабілізуювальні (іонізувальні);
- газоутворювальні;
- шлакоутворювальні;

Переваги ручного електродугового зварювання:

- можливість зварювання в монтажних і цехових умовах;
- різноманітність застосовуваних типів з'єднань;
- можливість зварювання конструкцій різних габаритів;
- широким діапазоном товщини металу, що зварюється;
- можливість зміни хімічного складу наплавленого металу;
- можливість зварювання у будь-яких просторових положеннях.

Недоліки ручного електродугового зварювання.:

- низька продуктивність та важкі умови праці;
- кристалізація металу шва проходить при розтягувальних напруженнях, що є однією з причин утворення тріщин;
- змінюється структура основного металу під впливом нагрівання при зварюванні.

### Автоматичне дугове зварювання під шаром флюсу

Зварювання виконують непокритим електродним дротом, дугу і зварювальну ванну захищають флюсом, подача і переміщення електродного дроту механізовані.

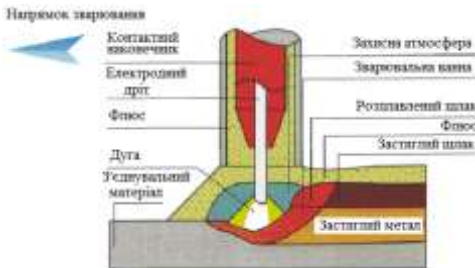


Рисунок 5.10 – Схема автоматичного зварювання під шаром флюсу

Переваги:

Продуктивність у 15-20 разів вища від ручного за рахунок використання великих зварювальних струмів (до 3000 А).

Метал до 20 мм зварюється за один прохід без підготовки кромок.

- надійний захист зварювальної ванни флюсом;
- інтенсивне розкиснення і легування;
- порівняно повільне охолодження;
- поліпшення форми та поверхні зварного шва і сталість його розмірів.

Недоліки:

- можливе лише в нижньому положенні;
- лише для прямолінійних швів і швів невеликої кривизни;
- неможливо спостерігати за процесом горіння дуги.

У деяких випадках можливе застосування напівавтоматичного зварювання під шаром флюсу. Відрізняється від автоматичного тим, що подача електродного дроту механізована, але переміщення його вздовж шва здійснюється вручну.

Напівавтоматично зварюють короткі та криволінійні шви, які недоцільно зварювати автоматичним зварюванням.

### **Зварювання в середовищі захисних газів**

При зварюванні в атмосфері захисних газів електрод, зона дуги і зварювальна ванна захищаються струменем захисного газу, що примусово подається у зону зварювання ззовні. Захисні гази зазвичай мають відмінну іонізувальну здатність, що забезпечує стабільність горіння електричної дуги навіть за малих струмів. Є активні захисні гази, що вступають у хімічну реакцію, – вуглекислий газ, азот, водень тощо та інертні – аргон, гелій.

За ступенем механізації зварювання у середовищі захисних газів може бути ручне, автоматичне, напівавтоматичне.

## *Зварювання в середовищі захисного газу аргону*

Аргон – безколірний газ, в 1,38 рази важчий за повітря, не утворює хімічних сполук і не розчинний у рідких і твердих металах.

Аргонодугове зварювання застосовують для: алюмінію, магнію, тугоплавких металів і сплавів (титану, ніобію, ванадію, цирконію), конструкційних легованих і високолегованих сталей.

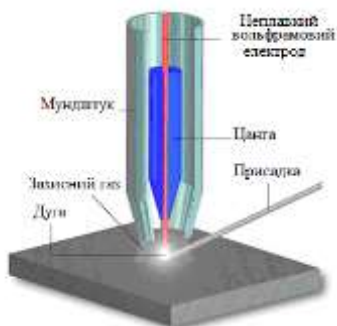


Рисунок 5.11 – Зварювання неплавким електродом у середовищі інертних газів

Зберігається аргон у стисненому газоподібному стані в сталевих балонах під тиском 15 МПа (150 атм), сірого кольору.

Для покращання технологічних властивостей використовують суміш аргону, вуглекислого газу, гелію тощо.

Найбільш поширене аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом.

Звичайно використовують присадний дріт для формування шва.

Вживаний зварювальний струм:

- DC (постійний) струм прямої полярності використовується для більшості металів (сталь);

- AC (змінний) для зварювання алюмінію та інших матеріалів з тугоплавким оксидом на поверхні, що руйнується важкими атомами аргону.

Сила струму від 1А.

Зварювання іноді виконують плавким електродом, коли подавання дроту механізоване.

Переваги та недоліки аргонодугового зварювання:

- високий ступінь захисту розплавленого металу від дії повітря;

- відсутність на поверхні шва при застосуванні аргону оксидів і шлакових включень;
- можливість ведення процесу у всіх просторових положеннях;
- можливість візуального спостереження за процесом формування шва і його регулювання;
- вища продуктивність процесу, ніж при ручному дуговому зварюванні.
- висока ціна аргону, гелію.

### *Зварювання СМТ (Cold Metal Transfer)*

СМТ «Fronius» (ColdMetalTransfer – холодне перенесення металу) – технологія електродугового зварювання із мінімальним тепловкладанням.

Коли горить дуга, дріт рухається вперед і назад (після утворення короткого замикання), до 70 разів за секунду під керуванням автоматики. Відбувається КЗ – ставиться крапля і дріт швидко відводиться – дуга гасне і запалюється знов.

Середня температура процесу значно нижча, ніж при звичному зварюванні, відсутні бризки, стабільна дуга.

Застосування ручного зварювання СМТ:

Зварювання тонкої і ультратонкої сталі, алюмінієвих і хромово-нікелевих сплавів.

Зварювання з високими вимогами до зовнішнього вигляду зварного шва.

Наплавлення з використанням процесу СМТ (мінімальне перемішування наплавленого та основного металів.



## Зварювання в атмосфері вуглекислого газу ( $CO_2$ )

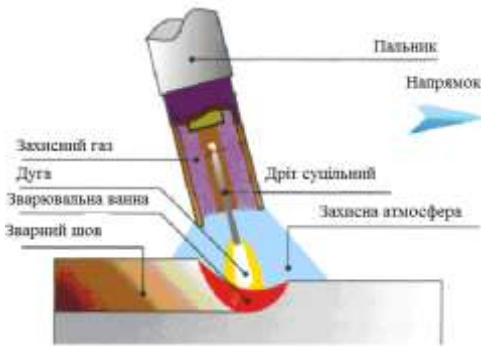


Рисунок 5.12 – Схема зварювання у середовищі вуглекислого газу

Зварювання виконують лише плавким електродом на підвищеній щільності постійного струму зворотної полярності.

У вуглекислому газі зварюють конструкційну вуглецеву і низьколеговану сталь.

Вуглекислий газ — безколірний, із слабким запахом, в 1,52 раза важчий за повітря. Зберігають в зрідженому стані в сталевих балонах під тиском 7 МПа.

Вуглекислий газ окиснює розплавлений метал (дисоціює на окисел вуглецю і кисень). Потребує використання спеціального присадного дроту – зі вмістом елементів розкислювачів Si, Mn.

Зварювання в атмосфері вуглекислого газу має переваги:

- значний ступінь захисту розплавленого металу від дії повітря;
- незначна кількість шлакових включень на поверхні шва;
- можливість виконання процесу у всіх просторових положеннях;
- можливість візуального спостереження за процесом формування шва;
- вища продуктивність процесу, ніж при ручному дуговому зварюванні;
- низька вартість зварювання.

## Зварювання порошковим дротом

Порошковий дріт має форму трубки, заповненої порошком (шихтою), що може бути складений бухтою (згорнутий). Порошок виконує як функції обмазки звичайного електрода, так і додаткові.

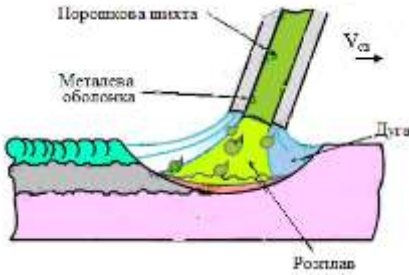


Рисунок 5.13 – Зварювання порошковим дротом

гази і шлак, що захищає ванну і метал шва, що кристалізується. Є порошкові дроти, що потребують стороннього захисного газу.

Зварювання порошковим дротом є напівавтоматичним і автоматичним.

Зварювання порошковим дротом у ряді випадків витісняє ручне дугове зварювання завдяки вищій продуктивності.

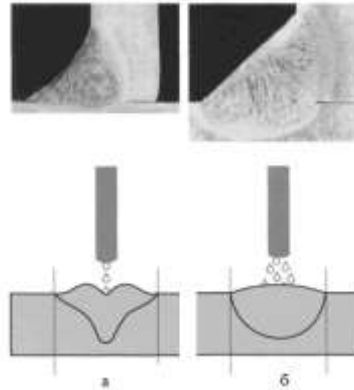


Рисунок 5.14 – Формування шва при зварюванні (наплавленні): а – суцільним дротом; б – порошковим дротом



занурений електрод і кромки виробу, утворюється зварний шов.

Переваги: можливе особливо високоякісне зварювання металу будь-якої товщини (з 16 мм).

Недолік способу – утворення крупного зерна внаслідок повільного нагрівання та охолодження – необхідна термічна обробка.

Широко застосовують для виготовлення станин і деталей потужних пресів, верстатів, колінчастих валів суднових дизелів, ємностей високого тиску тощо.

## Променеві способи зварювання

### *Зварювання електронним променем*

Використовується принцип електронної емісії за рахунок різниці потенціалів між катодом та анодом при напрузі 150 кВ. Зіткнення електронів зі зварюваними деталями розігріває місце зварювання до температури в 5000-6000 °С.

Діаметр електронного променя досягає тисячних мм.

Особливості процесу:

- зварювання відбувається у вакуумі – потрібні дзеркально чиста поверхня і дегазація розплавленого металу;
- моментальне плавлення і затвердіння металу;
- шов виходить дрібнозернистим із мінімальною шириною, що дозволяє зварювати сплави, чутливі до нагрівання.

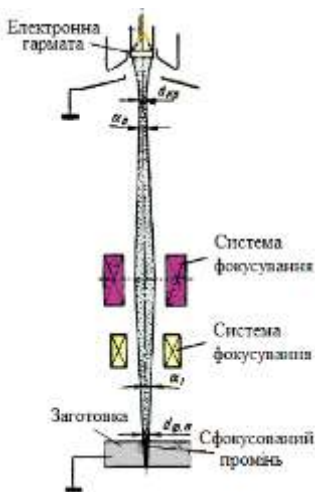


Рисунок 5.17 – Схема зварювання електронним променем

Застосовують для деталей з однорідних і різнорідних тугоплавких, хімічно активних металів і їх сплавів (вольфрамових, танталових, молібденових, ніобієвих, цирконієвих), а також алюмінієвих і титанових сплавів і високолегованих сталей. Мінімальна товщина зварюваних заготовок становить 0,02 мм, максимальна – до 100 мм.

### *Зварювання лазерним променем*

Здійснюється за допомогою оптичних квантових генераторів, що дають світлове проміння з високою густиною енергії.

Для його фокусування застосовується оптична система.

При зустрічі світлового променя зі зварюваним виробом віддається тепла енергія, в місці контакту температура досягається 6000 °С.

Переваги зварювання лазером:

- може здійснюватись у вакуумі, на повітрі, в атмосфері інертних газів;
- крізь оптично-прозорі матеріали на певній глибині;
- можливе поєднання різних металів.

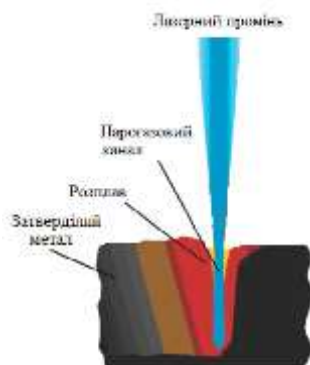


Рисунок 5.18 – Різання лазерним променем

### **Газове зварювання**

Метал зварюваних елементів розплавляється газовим полум'ям, що утворюється спалюванням горючих газів у атмосфері кисню у газовому пальнику.

Найчастіше використовують ацетилен  $C_2H_2$  із найвищою температурою згорання. Також як пальні гази використовують природні гази, водень, пари бензину, пари гасу тощо.

Можливе застосування для зварювання чорних, кольорових металів (із флюсами), наплавлення та розрізання металів, виправлення дефектів мідного литва.

Основними перевагами є: автономність від електроживлення, можливість повільного нагрівання, можливість створення окислювального (надлишок вуглекислого газу) або відновлювального (надлишок ацетилену) полум'я. Недоліками є деформування від нагрівання, обмеженість товщин тощо.

### Термічне різання

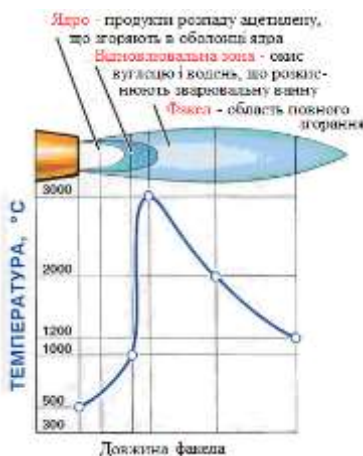


Рисунок 5.19 – Розподіл температур у факела при спалюванні ацетилену

процесу газового різання металу:

- температура його плавлення повинна бути вищою за температуру горіння в кисні;
- температура плавлення оксидів металу повинна бути вищою за температуру його плавлення;

Розрізання заготовок (розкроювання листового металу) є однією із найважливіших галузей застосування способів зварювання.

### Газове різання металів

Газовий різак має додатковий струмінь кисню – він видуває оксиди металу із зони розрізання.

Вимоги для можливості проходження процесу

- кількість теплоти, що виділяється при згоранні металу в кисневому струмені, повинна бути достатньою для підтримання безперервного процесу різання;

- теплопровідність не повинна бути дуже високою, інакше процес різання ускладнюється;

- оксиди, що утворюються, повинні легко видуватися киснем.

Практично зазначеним вимогам відповідають залізо, низьковуглецеві та низьколеговані сталі.

У разі невідповідності матеріалу вимогам при газовому різанні для підвищення якості розрізання застосовують інші способи.

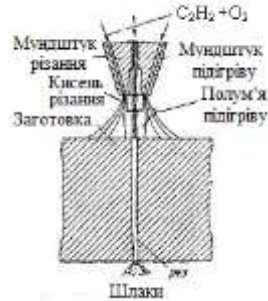


Рисунок 5.20 – Схема газокисневого різання

### Киснево-флюсове різання

При киснево-флюсовому різанні в зону розрізу разом із струменем різального кисню вводять порошок флюсу.

Дія флюсу обумовлена трьома факторами:

- флюс згорає, виділяє надлишок теплоти – теплова дія;

- продукти згорання флюсу утворюють із тугоплавкими оксидами матеріалу рідкоплавкі шлаки, які видаляються, – це хімічна дія флюсу;

- частинки флюсу діють і як абразив.

Цей різновид різання застосовується для обробки високолегованих сталей, чавунів, мідних сплавів, бетонів тощо (товщиною до 1,5 м – зі списом).

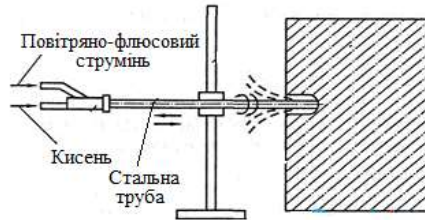


Рисунок 5.21 – Схема киснево-флюсового різання

### **Фторове різання**

Фторове різання використовується для відрізання заготовок з високолегованих сталей, титану тощо.

Фтор згорає у водні, виділяється висока температура, яка і забезпечує різання тугоплавких матеріалів.

### **Плазмове різання**

Плазмовим різанням обробляються будь-які метали, деякі неметали. Локальне високотемпературне нагрівання заготовки виключає її деформацію.

Процес характеризується високою чистотою та якістю поверхні розрізу. Можливе складне фігурне вирізання. Плазмовим струменем розрізають кераміку, високолеговані сталі, мідні і алюмінієві сплави тощо.

### **Лазерне різання**

Є високоефективним видом розкрюювання листових матеріалів і дозволяє вирізувати будь-які вироби з складним контуром:

- висока точність;
- відсутність механічного контакту з оброблюваною поверхнею;
- різання твердих інструментальних сплавів;
- можливість різання отворів малого діаметра (від 0,15мм).

### **Повітряно-дугове різання**

Є процесом поверхневої обробки або розділення металу (сталі і кольорові сплави) за рахунок дуги з неплавким вугільним електродом, додатково подається повітря під тиском. Є високоефективним процесом.

### **5.1.2. Термомеханічний клас зварювання**

До термомеханічного класу зварювання можна віднести: контактне зварювання, зварювання акумульованою



енергією, конденсаторне зварювання, дифузійне зварювання.

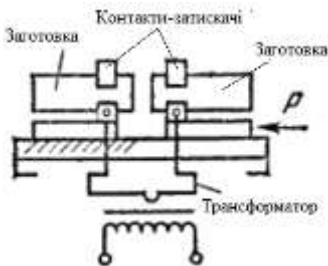


Рисунок 5.22 – Схема стикового контактної зварювання

### Стикове контактне зварювання

Спосіб з'єднання заготовок за рахунок розігрівання до температури плавлення (або до термопластичного стану) теплом, що виділяється при проходженні електричного струму крізь заготовки.

Стикове зварювання з розігріванням стику до пластичного стану і подальшим осадженням називають зварюванням опором, а при розігріванні торців до оплавлення з подальшим осадженням – зварюванням оплавленням.

Зварювання застосовується для з'єднання в стик заготовок з сортового прокату, труб, рейок тощо.

### Точкове контактне зварювання

Точкове зварювання – спосіб виготовлення листових (або каркасних) конструкцій, що дозволяє одержати міцні з'єднання в окремих точках.

Заготовки, зібрані внапуск, затискають між мідними електродами і пропускають струм. Нагрів від електричного

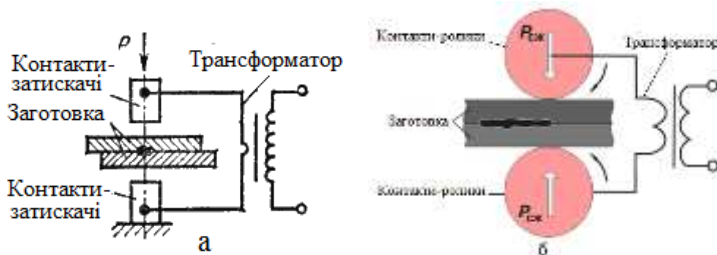


Рисунок 5.23 – Схема точкового (а) та шовного (б) зварювання

опору матеріалу заготовок локалізується на ділянках контакту-стискання. Електроди при цьому пластично деформують заготовку і зварювальну ванну, зміцнюючи місце з'єднання.

Цей спосіб широко застосовують в автобудуванні, виготовленні металевих конструкцій з листових матеріалів, електричних схем.

*Шовне зварювання* – спосіб з'єднання деталей швом, що складається з окремих зварних точок.

Зварювані заготовки поміщають між двома роликами-електродами.

### Дифузійне зварювання

Дифузійне зварювання матеріалів у твердому стані – це спосіб отримання монолітного з'єднання внаслідок виникнення атомарних зв'язків і взаємодифузії.

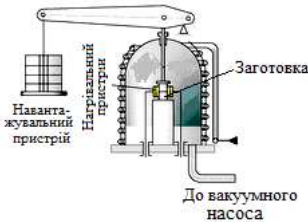


Рисунок 5.24 – Схема дифузійного зварювання у вакуумі

Це можливе на поверхнях, зближених локальним пластичним деформуванням при підвищеній температурі.

Переваги дифузійного зварювання:

- висока якість з'єднання і збереження ним властивостей, характерних для початкових матеріалів деталей;
- стабільність якості з'єднання завдяки автоматизації процесу і малої залежності від зовнішніх дій;
- низька енерговитрата й екологічна чистота;
- можливість з'єднання деталей із матеріалів, що різко відрізняються своїми властивостями.

### 5.1.3. Механічний клас зварювання

Ультразвукове зварювання. Холодне зварювання. Зварювання вибухом. Зварювання тертям.

#### Ультразвукове зварювання

Амплітуду коливання досягають десятків мкм. Частота механічних коливань дорівнює 20-30 кГц.

Ці коливання викликають сили тертя у місці зварювання – відбувається нагрівання тонких шарів металу – руйнуються поверхневі окисні плівки – пластично деформуються приповерхневі шари.

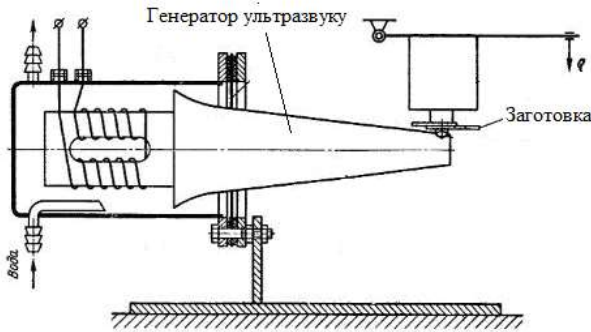


Рисунок 5.25 – Схема ультразвукового зварювання

#### Холодне зварювання

Холодне зварювання – процес утворення з'єднання металів і сплавів шляхом інтенсивної пластичної деформації зварюваних деталей за рахунок значного стискального зусилля.

З'єднують пластичні матеріали: мідь із міддю, алюміній з алюмінієм, мідь з алюмінієм, нікель, срібло, титан, латунь тощо. Одержують стикові, внапуск, таврові та штиркові з'єднання.

Необхідно видалити окисні плівки з поверхні зварюваних деталей.

Переваги процесу:

- зварювати термічно знеміцнювані метали;
- герметизувати деталі, нагрівання яких недопустиме;
- надійно зварювати різнорідні метали без утворення в стику крихких інтерметалідів;
- відсутність витратних матеріалів;
- мала енергоємність;
- висока екологічна безпека.

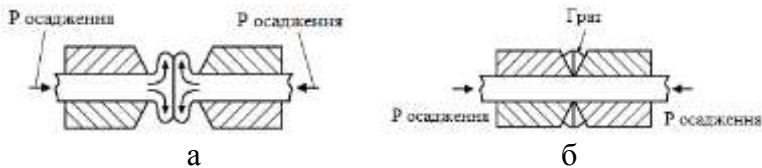


Рисунок 5.26 – Схема холодного стикового зварювання

### **Зварювання вибухом**

Зварювання вибухом можна віднести як до механічного, так і до термомеханічного класу зварювання.

Утворення з'єднання металевих тіл відбувається ударною дією від детонації вибухової речовини. Тиск і теплота при зварюванні вибухом сприяють переміщенню верхньої заготовки до нижньої заготовки. При зіткненні заготовок у точці контакту відбувається зближення заготовок на відстані, при яких забезпечується взаємодія міжатомних сил.

Спосіб дозволяє з'єднання різнорідних металів із міцністю на рівні міцності основних металів (сталь + титан, сталь + алюміній, алюміній + мідь і т. д.) – біметали.

Зварювання вибухом може здійснюватися на великих площах, обмежуваних лише розмірами використовуваних листів.

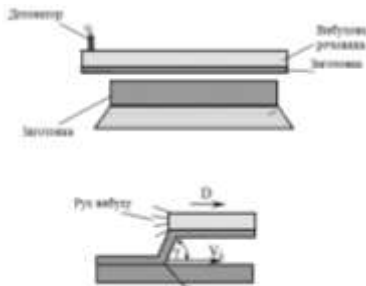


Рисунок 5.27 – Схема зварювання вибухом



Рисунок 5.28 – Геометрія місця зварювання

### Зварювання тертям

Зварювання тертям здійснюється у твердому стані при використанні теплоти, що є наслідком тертя поверхонь зварюваних елементів.



Рисунок 5.29 – Схема зварювання тертям обертанням

Застосовується зварювання тертям для з'єднання однорідних і різнорідних металів, для виготовлення різального інструменту, валів, штоків з поршнями, клапанів та інших деталей машин.

## 5.2. Особливості зварювання металів і сплавів

*Зварюваність* – здатність матеріалів утворювати зварні з'єднання (без тріщин, пор, шлакових включень та ін.) Розрізняють добру, задовільну та погану зварюваність.

Хороша зварюваність матеріалів – при зварюванні однорідних металів і сплавів у місці з'єднання, як правило, утвориться структура, ідентична або близька структурі заготовки, що з'єднуються.

Задовільна або погана зварюваність – при зварюванні різнорідних матеріалів у місці з'єднання утвориться твердий розчин із ґратами одного з матеріалів або хімічна чи інтерметалідна сполука з властивостями, які різко відрізняються від вихідних матеріалів.

### **Особливості зварювання вуглецевих і легованих сталей**

Низьковуглецеві (низьколеговані) сталі добре зварюються.

Середньовуглецеві й середньолеговані сталі (більше вуглецю і легованих елементів) зварюються гірше. Можливі кристалізаційні тріщини та структури гарту. Застосовують попереднє нагрівання (100-300 °С), термообробку.

Високовуглецеві сталі не використовують для утворення зварних з'єднань, виняток становлять ремонтні роботи.

### *Особливості зварювання сталей із вмістом хрому, нікелю*

Високохромисті сталі окрихчуються у пришовній зоні, збільшується зерно і вигоряє хром, по межах зерен можуть випадати крихіткі фази, утворюються холодні тріщини. Для запобігання застосовують підігрів, малі струми, захищають місце зварювання, легують присадний матеріал або електроди хромом, а після зварювання проводять т/о.

Хромонікелеві сталі при зварюванні можуть знизити корозійну стійкість у зв'язку з випаданням по межах зерен аустеніту карбіду хрому. Тому зварювання проводять при малих струмах із примусовим охолодженням. Після зварювання призначають відпалювання або гартування. Це запобігає випаданню карбідів хрому.

Хромонікелеві сталі добре зварюються контактним зварюванням.

## **Особливості зварювання чавунів**

Чавуни зварюються обмежено:

- утворюються структури гартування (чавун вибілюється) при швидкому охолодженні – утворюються тріщини;

- білий чавун має високу усадку чавуну.

Леговані чавуни зварюються краще, ніж звичайні. Гартування і вибілені структури чавуну усувають відпалюванням.

Розрізняють гаряче і холодне зварювання чавунних виробів.

При гарячому чавун підігривають до температур 600-700 °С і забезпечують повільне охолодження зі швидкістю 50-100 °С/год. Рідка ванна металу повинна бути великою, що сприяє видаленню газів, повільному охолодженню. Проводиться електричною дугою або газозварювальним полум'ям.

Холодне зварювання чавуну електричною дугою. Електроди можуть бути сталевими, мідно-залізними (монель-метал), мідно-нікелевими і чавунними. Зварювання здійснюється короткими швами, багатопарові.

## **Особливості зварювання алюмінію**

При зварюванні алюмінію і його сплавів виникає плівка оксиду алюмінію, температура плавлення якого 2050 °С

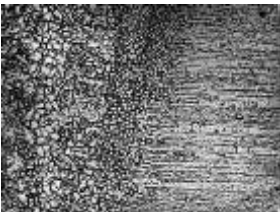


Рисунок 5.30 – Типова мікроструктура зварного з'єднання алюмінієвого сплаву

заважає сплавленню металу ванни з основним. Видалення плівки здійснюється дією зварювального струму зворотної полярності, флюсів або спеціальних покриттів електродів.

Алюмінієві сплави схильні до утворення водневих пор і тріщин.

Найширше застосовують зварювання алюмінієвих сплавів:

- у середовищі захисних газів;
- покритими алюмінієвими електродами;
- контактним зварюванням великими струмами;
- зварюванням СМТ (*Cold Metal Transfer*).

### **Особливості зварювання титану і його сплавів**

Розплавлений титан має високу хімічну активність.

Титанові сплави зварюються дуговим зварюванням в інертних газах неплавким і плавким електродом, дуговим зварюванням під флюсом, електронним променем, електрошлаковим і контактним зварюванням.

Розплавлений титан має високу рідкоплавкість, шов добре формується при всіх способах зварювання.

Основна складність зварювання титану – це необхідність надійного захисту металу від атмосферних газів.

Дугове зварювання виконують у середовищі аргону і в його сумішах з гелієм. Для особливо відповідальних виробів зварювання проводять у спеціальних камерах, наповнених аргоном.

### **5.3. Наплавлення та напилювання**

Це нанесення шару певного хімічного складу і властивостей на поверхню виробу.

#### **Наплавлення**

Наплавлення дозволяє одержувати деталі з поверхнею, відмінною від основного металу, наприклад корозійною стійкістю тощо або відновлювати поверхню.

Існують:

- ручне дугове наплавлення електродами із стержнями чи



Рисунок 5.31 – Схема наплавлення на циліндричну поверхню



- покриттями спеціальних складів, порошковим дротом;
- автоматичне наплавлення під флюсом суцільним чи порошковим дротом;
  - наплавлення плавкими і неплавкими електродами в середовищі захисних газів;
  - плазмове наплавлення;
  - електрошлакове, електронно-променеве, лазерне наплавлення, газокисневим полум'ям.

Важливим є ступінь перемішування при напавленні основного металу і присадного, який має бути якомога меншим.



а



б

Рисунок 5.32 – Геометрія зони сплавлення напавленого металу з основою при напавленні: а – в середовищі аргону; б – у спосіб СМТ у середовищі аргону

### Напилювання

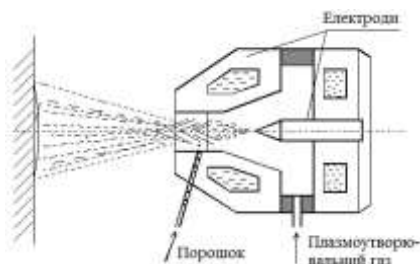


Рисунок 5.33 – Схема напилювання порошку плазмовим струменем

Для напилювання найчастіше застосовують плазмовий струмінь. Плазмовий струмінь дає можливість напилювати покриття товщиною від 0,5 до 5 мм за допомогою спеціальних пальників із подачею порошку.

Плазмове напилювання відрізняється швидким нагріванням порошку, що розпилюється, меншою температурною дією на деталь, малим окисненням при правильному використанні плазموутворювального газу.

## 5.4. Паяння металів і сплавів

Паяння – це з'єднання металевих заготовок без їх розплавлення за допомогою присадного сплаву (припою), що має температуру плавлення нижчу за основний метал. Розплавляючись, припій заповнює зазор між заготовками.

За технологічною ознакою розділяють:

- капілярне (за рахунок капілярних сил затягується припій у щілину);
- дифузійне (за рахунок взаємної дифузії компонентів припою і матеріалів, що паяються);
- контактено-реактивне (у місці контакту двох з'єднаних заготовок із прошарком третього металу, виникає новий сплав, який і є припоєм);
- реактивно-флюсове (припій виникає як результат взаємодії основний метал – флюс ( $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + \text{Zn}$ );
- паяння-зварювання (з'єднання виконують як при зварюванні, але присадним матеріалом слугує припій).

Властивості припою дуже часто наближаються до властивостей з'єднувального металу. Використовують олов'яні, цинкові, нікелеві, срібні, мідні припої.

## 5.5. Контроль якості зварних з'єднань

Методи контролю діляться на дві великі групи – руйнівні та неруйнівні.

До руйнівних відносять механічні, металографія та корозійні випробування.

Механічні випробування включають розтягування, вигин, сплющення та інші види руйнування, які кількісно характеризують міцність, якість і надійність з'єднань. Руйнівні випробування проводять звичайно на зразках-свідках і рідше – на самих виробках.

Неруйнівні методи використовують для перевірки якості швів без їх руйнування. Оцінюють ті або інші фізичні властивості, що побічно характеризують міцність або надійність з'єднань.

Ці властивості, а точніше їх зміна, звичайно пов'язані з наявністю дефектів.

Дефекти зварних швів і з'єднань, виконаних зварюванням плавленням, виникають через порушення вимог нормативних документів до підготовки, складання і зварювання вузлів, механічної і термічної обробки зварних швів і самої конструкції, до зварювальних матеріалів.

Дефекти зварювальних з'єднань можуть класифікуватися за різними ознаками: формою, розміром, розміщенням у зварному шві, причинами утворення, ступенем небезпеки і т. д.

Згідно стандарту ГОСТ 30242-97 дефекти зварних з'єднань підрозділяються на шість груп:

- тріщини;
- порожнини, пори, свищі, усадкові раковини, кратери;
- тверді вкраплення;
- несплави та непровари;
- порушення форми шва – підрізи, усадкові канавки, перевищення опуклості, перевищення проплаву, напливи, зсуви, натікання, пропали та ін.;
- інші дефекти.

## **Питання до розділу 5**

1. Фізичні умови створення зварного з'єднання.
2. Дайте загальну характеристику термічному класу зварювання.
3. Дайте загальну характеристику електричної дуги та її властивостей.

4. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості ручного дугового зварювання.

5. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості автоматичного зварювання під шаром флюсу.

6. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання в середовищі інертних захисних газів.

7. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання СМТ.

8. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання в атмосфері вуглекислого газу.

9. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості зварювання порошковим дротом.

10. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості плазмового зварювання.

11. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості електрошлакового зварювання.

12. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості променевих способів зварювання.

13. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості газового зварювання.

14. Опишіть технологічні можливості термічних способів різання металу.

15. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості основних способів термомеханічного класу зварювання.

16. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості основних способів механічного класу зварювання.

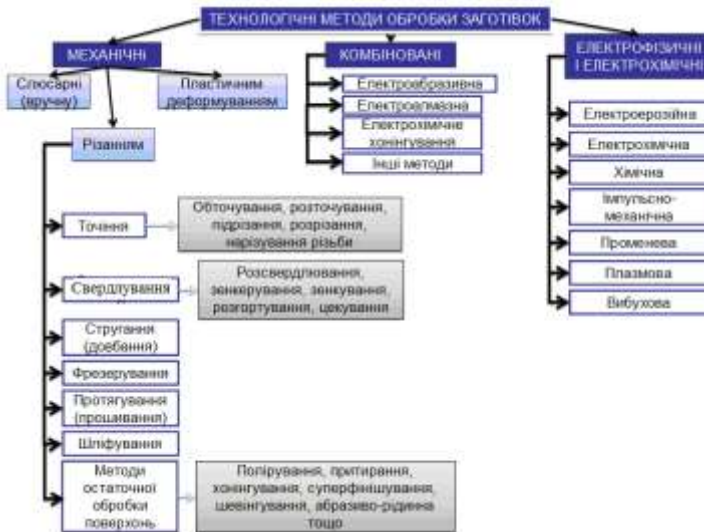
17. Дайте коротку характеристику зварюваності вуглецевих і легованих сталей.

18. Дайте коротку характеристику зварюваності металевих матеріалів

19. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості наплавлення та напилювання.

20. Наведіть схему та опишіть технологічні можливості паяння металів і сплавів.

## 6. ТЕХНОЛОГІЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК



### 6.1. Термінологія і визначення загальних понять

*Обробка металів різанням* – це процес зняття різальним інструментом металорізального верстата шару металу заготовки для надання потрібної форми, заданих розмірів і чистоти поверхні.

Усі види руху металорізальних верстатів при обробці різанням поділяються на три групи:

- робочий рух (або рух різання);
- установлювальний;
- допоміжний.

Складовими робочих рухів є *головний рух* і *рух подачі*. Головний рух здійснює процес зняття стружки, а рух подачі – процес різання.

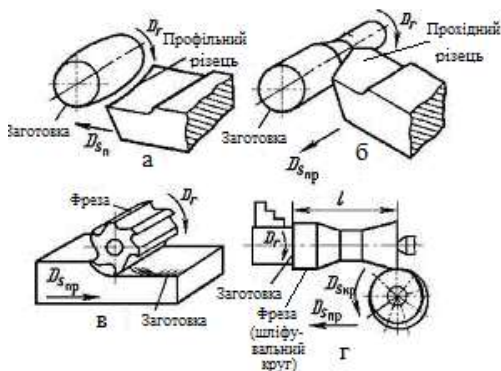


Рисунок 6.1 – Схема методів формоутворення поверхонь різанням: метод копіювання (а); метод слідів (б); метод торкання (в); метод огинання (обкатування) (г)

ні, свердлувальні, фрезерні, шліфувальні верстати) або *прямолінійним* (стругальні, довбальні верстати).

Головний рух надається заготовкам (верстати токарної групи) або різальному інструменту (фрезерні, поперечно-стругальні тощо).

До основних понять щодо процесу різання відносять:

- поверхні заготовки;
- координатні площини;
- елементи різальної частини;
- параметри режимів різання (кути, режими різання та розміри заданого шару металу).

На заготовці під час різання розрізняють:

- оброблювана поверхня – це поверхня заготовки, з якої знімають стружку;
- оброблена поверхня – це та, з якої знято стружку;
- поверхня різання утворюється головним різальним лезом різця.

Під час свердлування головним рухом є обертання свердла, а його переміщення вздовж осі або вбік є рухом подачі, що дозволяє одержати наскрізний отвір або канавку певної глибини.

У металорізальних верстатах головний рух найчастіше буває *обертальним* (токарні, свердлувальні, фрезерні, шліфувальні верстати) або

## 6.2. Параметри та фізичні явища, що супроводжують процес різання

При механічній обробці заготовок різанням спостерігаються певні фізичні явища.

### Параметри процесу різання

До основних *параметрів процесу різання* відносять глибину та швидкість різання, подачу, ширину і товщину зрізаного шару металу та номінальну площу його перерізу.



Рисунок 6.2 – Основні параметри процесу різання

*Глибиною різання* ( $t$ ) називають товщину шару металу, що зрізується за один прохід різального інструмента.

*Швидкість різання* ( $V$ ) називають швидкість головного руху.

Вона визначається шля-

хом, що пройшла точка оброблюваної поверхні заготовки відносно різальної кромки інструмента за одиницю часу, і вимірюється у метрах за хвилину (м/хв, м/с).

*Подача* ( $S$ ) – це переміщення різальної кромки інструмента відносно заготовки в напрямку подачі за один оберт (мм/об) або подвійний хід заготовки (чи інструмента) (мм/под. хід). Залежно від напрямку руху подача може бути поздовжньою, поперечною, похилою, вертикальною, тангенціальною, круговою тощо.

### Якість обробленої поверхні

Якість обробленої поверхні характеризують її шорсткість, хвилястість, наявність мікротріщин, надривів, подрібнення структури, нагартування і залишкові напруження.

*Шорсткість* – сукупність нерівностей поверхні деталі на певній її довжині. Рівень шорсткості залежить від умов різання.

Для кількісної оцінки шорсткості існують шість параметрів:

- середнє арифметичне відхилення профілю ( $R_a$ );
- висота нерівностей профілю за десятьма точками ( $R_z$ );
- інші.

Із чотирнадцяти існуючих класів шорсткості найбільш

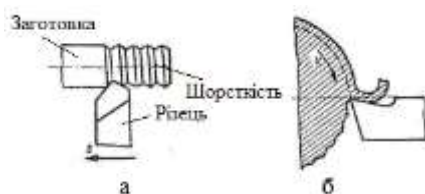


Рисунок 6.3 – Схема утворення:

- а – шорсткості при обробці;
- б – брижі

грубою і шорсткою є поверхня першого класу ( $R_z = 160-320$  мкм), а найбільш гладкою – поверхня чотирнадцятого класу

( $R_z < 0,1$  мкм).

Для зменшення шорсткості необхідно або збільшити радіус заокруглення вершини різця, або зменшити кути різця в плані.

### **Стружкоутворення**

При різанні під дією зовнішньої сили виникає пружно-і пластично-деформований об'єм матеріалу – стружка.

Залежно від умов різання і властивостей оброблюваного матеріалу може формуватися стружка трьох основних видів.

*Зливна стружка* має вигляд суцільної стрічки з гладкою внутрішньою (біля різця) і шорсткою зовнішньою поверхнями. Межі між елементами стружки не спостерігаються.

*Суглобиста стружка відколювання* утворюється при оброблюванні менш пластичних, твердих матеріалів. Поверхня стружки біля різця також гладка, а на зовнішній поверхні видно зазубринки. Стружка складається з



елементів (що не втратили зв'язку між собою) з видимими межами.

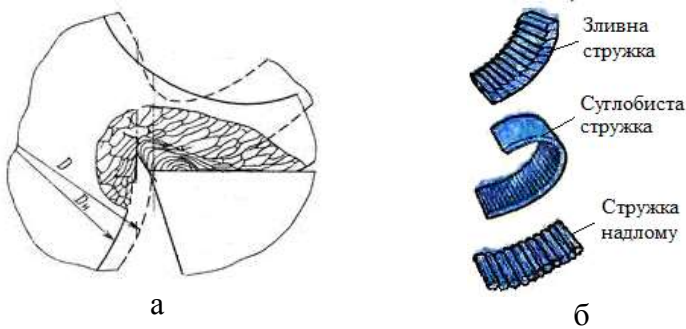


Рисунок 6.4 – Схема утворення стружки (а) і типи стружок (б)

*Стружка надлому (елементна)* – утворюється при оброблюванні крихких матеріалів і складається з окремих елементів випадкової форми, не пов'язаних між собою.

Вигляд стружки часто використовується як непряма характеристика роботи різання.

Процес різання супроводжується пружним і пластичним деформуванням зрізуваного шару, усадкою стружки, утворенням наросту на передній поверхні різця, зміцненням поверхневого шару оброблюваної деталі, тепловиділенням.

### **Зміцнення під час різання**

Під час різання спостерігається пружно-пластичне деформування тонкого шару металу, що приводить до зміцнення оскільки різальна кромка різця обов'язково має малий радіус заокруглення ( $\approx 0,02$  мм) і шар металу між лініями *AB* і *CD* не зрізується, а деформується.

У результаті відбувається значне зміцнення металу, підвищення поверхневої твердості.

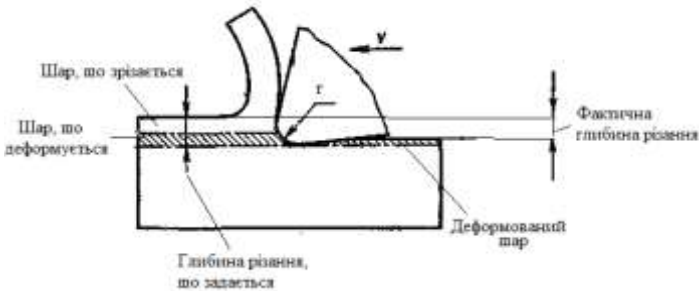


Рисунок 6.5 – Схема зміцнення під час різання

Деформування металу призводить до наведення в поверхневому шарі залишкових розтягувальних напружень, які знижують межу витривалості.

### Наростоутворення

Наріст – сильнодеформований щільний шар оброблюваного матеріалу, що закріпився на передній поверхні інструмента у вигляді твердого клина.

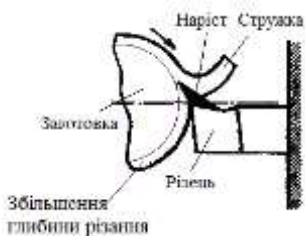


Рисунок 6.6 – Схема впливу наросту на процес обробки лезовим інструментом

підвищує якість поверхні.

При грубій чорновій обробці наріст є позитивним явищем і, навпаки, негативним при чистовій остаточній обробці, оскільки знижується якість обробленої поверхні.

Позитивні наслідки: виникає додатковий різальний клин, запобігає зношуванню різальної кромки, підвищує тепловідвід.

Негативні наслідки: шорсткість обробленої поверхні гірша, змінюються діаметральні розміри деталі, тому що змінюються геометричні розміри інструменту, підвищується вібрація верстата, що погіршує якість поверхні.

Застосування змащувально-охолоджувальних рідин, ретельне доведення передньої поверхні інструменту для зниження коефіцієнта тертя знижують імовірність утворення наросту.

### **Теплоутворення під час різання**

Різання металів супроводжується утворенням теплоти.

Тепловий баланс процесу різання:

$$Q_d + Q_{п.п} + Q_{з.п} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

де  $Q_d$  – тепло утворене в результаті пластичних деформацій;  $Q_{п.п}$  – тепло від тертя стружки об передню поверхню інструмента;  $Q_{з.п}$  – тепло від тертя задніх поверхонь інструменту об заготовку;  $Q_1$  – тепло, яке йде в стружку (45-94 %);  $Q_2$  – тепло, яке залишається в деталі (43-3 %);  $Q_3$  – тепло, що переходить в інструмент (8-2 %);  $Q_4$  – тепло, яке випромінюється в навколишнє середовище (~ 1 %).

Теплоутворення негативно впливає на процес різання – зменшується стійкість різальних інструментів, фізичні властивості заготовки, змінюються геометричні параметри (глибина різання).

Із збільшенням швидкості різання кількість тепла, що відводиться стружкою збільшується.

Зі збільшенням глибини різання температура різання підвищується не дуже (покращується тепловідвід у глибину заготовки).

### **Змащувально-охолоджувальні рідини (СОР)**

Для покращання теплового балансу застосовують змащування та охолодження, що знижує тертя по передній і задній поверхнях інструмента, перешкоджає утворенню наростів; зменшує температуру різання, що підвищує точність.

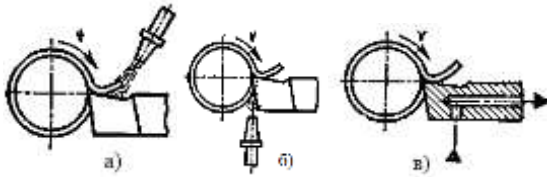


Рисунок 6.7 – Схеми змащування під час різання: а – з верхнім підводом рідини; б – з нижнім; в – охолодження інструмента

У якості СОР використовують рідини, гази і газоподібні речовини, тверді речовини. До рідин відносять: водні розчини мінеральних електролітів, емульсії, розчини мил, гас і розчини ПАР.

СОР підводять до передньої поверхні інструмента, з боку задніх поверхонь інструмента, через порожнистий різальний інструмент.

### **Стійкість різального інструменту**

*Спрацювання* різальної частини інструмента характеризує його здатність протидіяти мікроскопічному руйнуванню на поверхнях контакту із заготовкою та стружкою.

Розрізняють кілька видів спрацювання інструмента, що можуть діяти водночас: абразивне спрацювання, адгезійне спрацювання, дифузійне спрацювання, окисне спрацювання, крихке спрацювання.

*Стійкістю інструмента* називають час його роботи за певних режимів різання між операціями його переточування.

На стійкість впливають хімічний склад і властивості оброблюваного матеріалу, матеріал, з якого зроблений різальний інструмент, режим різання та умови обробки.

*Критерій затуплення* – гранично допустима величина зношування, за якої інструмент втрачає нормальну працездатність ( $h$ ) – зазвичай це спрацювання головної задньої поверхні.

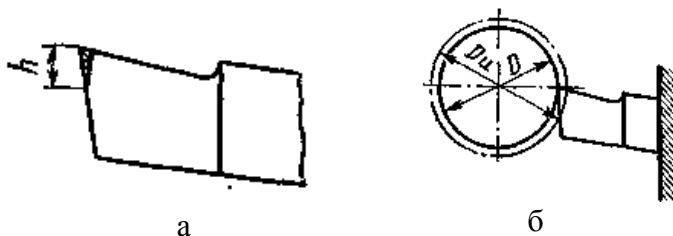


Рисунок 6.8 – Спрацювання інструмента та його вплив на геометрію обробленої поверхні: а – затуплення різальної кромки інструмента; б – вплив затуплення інструмента на діаметральні розміри обробленої поверхні

### 6.3. Інструментальні матеріали

Інструментальні матеріали повинні мати високу твердість, твердість при високих температурах (червоностійкість), протистояти інтенсивному зношуванню.

#### Інструментальні сталі

Інструментальні сталі марок типу У7 (HRC 60-62) використовують для інструмента зі швидкостями різання 15-18 м/хв; червоностійкість сталей до 200-250 °С.

Леговані інструментальні сталі (ХВГ), (HRC 62-65) – червоностійкість досягає 250-300 °С, припустимі швидкості різання 15-25 м/хв. З них виготовляють складні за конфігурацією інструменти.

Швидкорізальні сталі (P5M5) (HRC 62-65) червоностійкість до 640 °С, швидкість різання до 80 м/хв.

Є швидкорізальні сталі з малим вмістом вольфраму (11АРМЗФ2) або без нього (1М5Ф).

Тонкі покриття нітридом титану збільшують термін служби інструмента у 2-5 разів.

#### Тверді спечені порошкові сплави

Тверді сплави володіють високою зносостійкістю, твердістю (HRC 86-92) і червоностійкістю (80-1000 °С), при швидкості обробки до 800 м/хв.

*Однокарбідні тверді сплави* марок ВК2, ВК4, ВК6, ВК8 та ін. найбільш міцні, з хорошим опором ударним навантаженням. Використовуються для обробки чавунів, кольорових металів і їхніх сплавів, неметалічних матеріалів.

*Двокарбідні тверді сплави* марок Т5КЮ, Т14К8, Т15К6, Т30К4 та інші менш міцні й більш зносостійкі, ніж сплави першої групи. Знаходять застосування при обробці пластичних і грузлих металів і сплавів, вуглецевих і легированих сталей.

*Трикарбідні тверді сплави* марок ТТ7К12 та інші мають підвищену міцність, зносостійкість і в'язкість. Застосовуються для обробки жароміцних сталей, титанових сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів.

*Мінералокераміка* – синтетичний матеріал, основою якого служить глинозем ( $Al_2O_3$ ), спечений при температурі 1720-1750 °С. Його червоностійкість 1200 °С. Ці матеріали характеризуються відсутністю налипання металу на інструмент; їх недолік – низька міцність і крихкість, тому часто в них додають вольфрам, молібден, титан, нікель.

*Надтверді матеріали*. Застосовуються в інструментах і надтверді матеріали (СТМ). Це матеріали на основі кубічного нітриду бору, композити.

## Класифікація металорізальних верстатів, призначення і технологічні можливості



Універсальні – призначені для виконання різноманітних операцій під час виготовлення деталей, різних за розмірами і формою;

Спеціалізовані – для обробки однотипних деталей різних розмірів.

Спеціальні – для виготовлення деталей одного типорозміру.

Верстати кожної із груп поділяються на типи за такими основними ознаками:

- технологічне призначення (круглошліфувальні, плоскошліфувальні);
- конструктивні особливості (універсально-фрезерувальні, поздовжньо-фрезерувальні);
- розташування робочих деталей у просторі (вертикально-свердлувальні, горизонтально-свердлувальні);
- кількість робочих деталей верстата (одношпиндельні, багатшпиндельні);
- ступінь автоматизації (з ручним керуванням, напівавтомати, автомати).

### **Точіння**

На верстатах токарної групи виконуються різноманітні операції з обробки поверхонь:

- обточування зовнішніх і внутрішніх циліндричних і конічних поверхонь;
- обробка площин, перпендикулярних до осі обертання (торців);
- проточування канавок;
- свердлування та обробки отворів що збігаються з віссю обертання заготовки;
- нарізання різьби на циліндричних і конічних поверхнях.

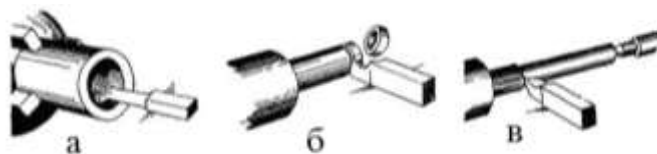


Рисунок 6.9 – Схема розточування (а), відрізання (б) та точіння (в) на токарному верстаті

Під час точіння (обточування) здійснюється два рухи різання: обертовий рух заготовки (головний рух) і поступальний рух різального інструменту – різця (рух подачі).



Токарні різці класифікують за різними ознаками:

- за матеріалом різальної частини розрізняють різці сталеві, твердосплавні та мінералокерамічні;
- за конструкцією різці є суцільними та складеними;
- залежно від розташування головної різальної кромки розрізняють різці правосторонні й лівосторонні;
- за розміщенням осі головки різця відносно осі його тіла (в плані) розрізняють різці прямі та відігнуті;
- розрізняють також різці чистової і чорнової обробки.

Залежно від призначення (виду обробки) різці поділяють на прохідні, підрізні, відрізні, розточувальні, нарізні, канавкові, фасонні.

Для чистової обробки застосовують різці двох типів: із заокругленою верхівкою та широкі чистові різці з прямою головною різальною кромкою.

До верстатів токарної групи відносять також карусельні, револьверні, автомати та напівавтомати.

### Свердлування

На свердлувальних та розточувальних верстатах виконують свердлення, зенкерування, зенкування, розточування отворів різцями, розвертування, цекування, нарізування різьби мітчиком.

На свердлувальних верстатах здійснюються два робочі рухи свердла: обертотий, навколо своєї осі (головний рух), і поступовий, паралельно осі (рух подачі).

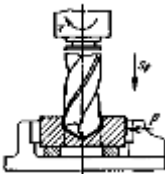


Рисунок 6.10 – Схема свердлування

*Свердлування* – отримання отворів у суцільному металі з використанням свердла.

*Розсвердлювання* – збільшення вже існуючих отворів свердлом.

*Зенкерування* – оброблення отворів, отриманих литвом, штампуванням тощо, інстру-

ментом «зенкер» для надання їм необхідної геометричної форми, розмірів і шорсткості поверхні.

*Розточування* – оброблення вже існуючого отвору різцями для необхідної точності.

*Розвертування* – оброблювання отворів з метою отримання точних розмірів і малої шорсткості.

*Зенкування* – це утворення циліндричних або конічних заглиблень у попередньо зроблених отворах під головки болтів, гвинтів тощо. Здійснюють зенкування за допомогою циліндричних або конічних зенкерів (зенківок).

*Цекування* – це оброблення торцевих поверхонь під гайки, шайби й кільця з використанням ножів (пластин) або торцевих зенкерів.

При свердленні використовують такі основні типи свердел: перові, спіральні, свердла для глибокого свердління та центрувальні.

### **Розточування**

На розточувальних верстатах свердлять, зенкерують, розточують, розвертають отвори, підрізають торці, обточують зовнішні циліндричні поверхні, нарізають різьбу, фрезерують плоскі та фасонні поверхні.

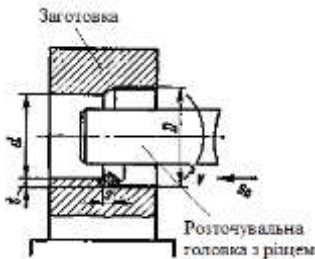


Рисунок 6.11 – Схема розточування

Основні типи розточувальних верстатів: горизонтально-розточувальні; координатно-розточувальні; алмазно-розточувальні та інші.

Головний обертальний рух здійснює різальний інструмент, а поступальний рух подачі – інструмент або заготовка.

Залежною від форми оброблюваної поверхні подача може бути поздовжньою або поперечною, горизонтальною, вертикальною, радіальною. За рахунок відповідного

сполучення головного руху з рухом подачі здійснюється необхідне формоутворення поверхонь.

### Фрезерування

Фрезерування – це процес обробки металу різанням, під час якого інструмент (фреза) здійснює головний обертальний рух, а заготовка – поступальний або обертальний рух подачі. Лише в окремих випадках фреза здійснює, крім головного, і рух подачі.

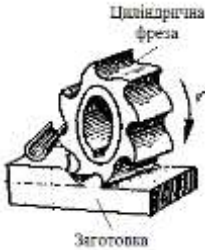


Рисунок 6.12 – Схема фрезерування циліндричною фрезою

Фрезерування – один із найпродуктивніших і найпоширеніших методів обробки різанням. На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні й похилі площини, фасонні поверхні; фрезерують пази і шпонкові канавки, зубці зубчастих коліс; набором фрез обробляють складні поверхні, виконують нарізи.

Фреза – це інструмент обертання, на поверхні якого розміщені різальні зубці.

Залежно від форми і призначення фрези поділяють на: циліндричні; торцеві; дискові; кінцеві; кутові; нарізні (різьбові); черв'ячні та інші.

### Стругання, довбання

Стругання – це обробка поверхонь прямолінійним зворотно-поступальним рухом різця або заготовки в горизонтальній площині та переривчастого поступального руху подачі різця чи заготовки, перпендикулярного до напрямку головного руху.

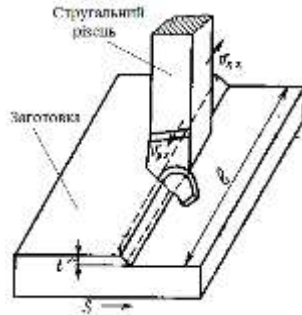


Рисунок 6.13 – Схема стругання

**Стругальні верстати є поперечно- та поздовжньо-стругальні.**

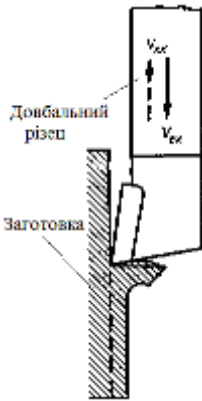


Рисунок 6.14 –  
Схема довбання

*Довбання* – це вид стругання, але головний рух здійснюється у вертикальній площині.

На стругальних верстатах найчастіше обробляють площини, пази, уступи та лінійні фасонні поверхні великогабаритних або одночасно декілька оброблюваних заготовок, менших за розмірами.

Довбальні верстати також застосовують для обробки внутрішніх і зовнішніх вертикальних площин, лінійних фасонних поверхонь, прорізання шпонкових та інших пазів, а також для одержання багатогранних отворів. Довбальні верстати застосовують в одиничному та малосерійному виробництвах.

### **Протягування**

Це високопродуктивний та високоточний метод обробки різанням наскрізних отворів та зовнішніх лінійних поверхонь.

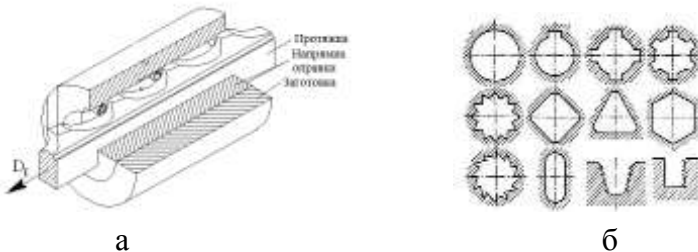


Рисунок 6.15 – Схема протягування шпонкового паза (а) і переріз елементів, що отримують протягуванням (б)

Інструмент протягування називається протяжкою. Є протяжки універсальні (елементи профілю отримують за декілька рухів) і спеціальні – профіль отвору або поверхні отримують за один робочий рух протяжки.

Протягувальні верстати зазвичай використовують під час серійного способу виробництва.

#### 6.4. Обробка абразивним інструментом

Обробка абразивним інструментом включає: операції розрізання, відрізання, зачищення поверхні, заточування лезових інструментів, для чистової і фінішної обробки – шліфування, хонінгування, суперфінішування, притирання, полірування. Існують спеціальні методи абразивної обробки – рідинно-абразивна, віброабразивна та ін., у т. ч. над-твердих матеріалів.

##### Абразиви та абразивні матеріали

Абразиви – частинки матеріалу у вигляді монокристала, полікристала або їх осколків, які мають гострі грані, мають високу твердість і здатність різання (дряпання). Абразивні інструменти бувають із пов'язаними зернами (шліфувальні круги, головки, бруски, сегменти, стрічки) й у вигляді незв'язаних – вільних зерен (пасти, суспензії, порошки). Абразивні інструменти характеризуються матеріалом зерен і їх величиною, видом зв'язки, твердістю, структурою, формою та розмірами.

Абразивні матеріали діляться на штучні (синтетичні) та природні. Для виготовлення абразивних інструментів використовують головним чином штучні абразивні матеріали:

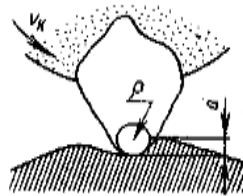


Рисунок 6.16 – Схема різання абразивним зерном заготовки

- електрокорунд (оксид алюмінію  $Al_2O_3$  із домішками) – міцніші зерна хромистого і титанистого електрокорунду, а також монокорунду, мають високі різальні властивості й застосовуються для шліфування жароміцних сплавів;

- карбід кремнію  $SiC$ . Застосовують при обробці крихких матеріалів – чавунів, бронзи, титанових і тугоплавких сплавів, заточування твердосплавних інструментів;

- карбід бору  $B_4C$ . Карбід бору має високу твердість (39-44 ГПа), велику крихкість і застосовується у вигляді порошоків для довідних процесів і при ультразвуковій обробці крихких матеріалів;

- синтетичні алмази (АС) отримують у вигляді дрібних кристалів розміром звичайно не більше 1 мм. Синтетичні алмази залежно від міцності діляться на п'ять марок;

- кубічний нітрид бору (КНБ), або ельбор, що складається з

44 % бору і 56 % азоту, – абразивний матеріал, твердість якого близька до алмазу, а теплостійкість удвічі вища – до  $1600\text{ }^\circ\text{C}$ . Має виключно високі абразивні властивості й набагато перевершує за зносостійкістю всі відомі абразивні матеріали.

Зв'язувальні речовини чинять великий вплив на ефективність роботи абразивних зерен. Застосовують зв'язки трьох типів: неорганічні, органічні й металічні.

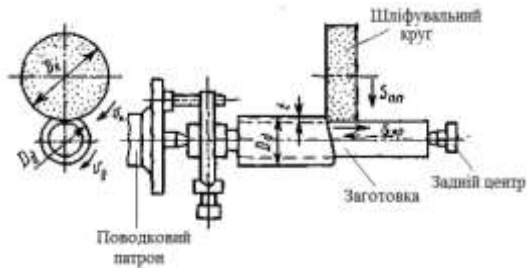


Рисунок 6.17 – Зовнішнє кругле шліфування в центрах

## Види шліфування

Шліфування – найбільш поширений різновид абразивної обробки, забезпечує шорсткість  $Ra = 0,3-1,6$  мкм і точність 6-8-го квалітетів.

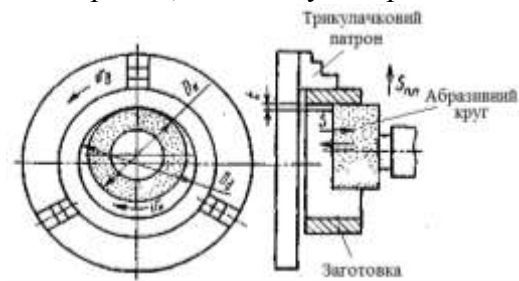


Рисунок 6.18 – Внутрішнє кругле шліфування

шліфування (зубошліфування, різбошліфування та ін.).

*Безцентрове зовнішнє шліфування.* Заготовка розташовується між шліфувальним і ведучим кругами.

*Плоске шліфування.* Обробляються за-

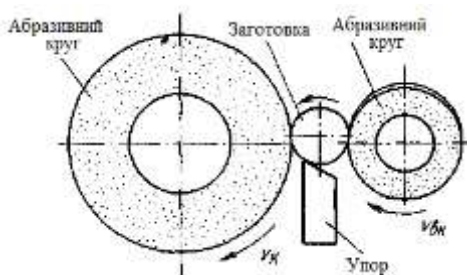


Рисунок 6.19 – Безцентрове зовнішнє шліфування

звичай плоскі поверхні деталей, закріплених на столі. Цей процес може бути здійснений як периферією, так і торцем шліфувального круга. Шліфування периферією круга використовують для точних робіт.

*Стрічкове шліфування* – абразивною стрічкою, що рухається з великою швидкістю (30-50 м/с).

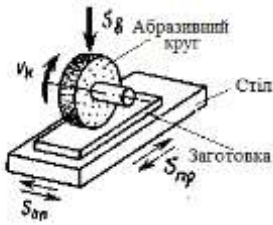


Рисунок 6.20 – Плоске шліфування

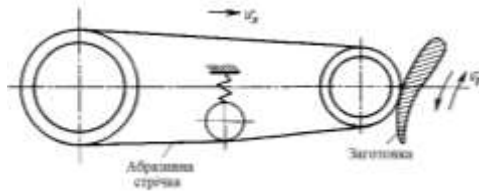


Рисунок 6.21 – Схема стрічкового шліфування

## 6.5. Технологія чистової обробки поверхонь заготовок

Методи чистової абразивної обробки поділяють на:

- обробка вільним зв'язаним абразивом (притирання, полірування, гідроабразивна тощо);
- обробка зв'язаним абразивом (хонінгування, суперфінішування тощо).

### Струменево-абразивна обробка (гідроабразивна)

Використовується для обробки об'ємно-криволінійних і фасонних поверхонь з метою зменшення їх шорсткості, а також для розрізання будь-яких матеріалів та сплавів.

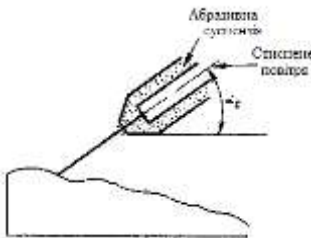


Рисунок 6.22 – Схема струменево-абразивної обробки

Вона не підвищує точність обробки, а шорсткість поверхні може бути понижена до  $Ra = 0,032-0,012$  мкм.

Абразивні зерна не лише обробляють, а й зміцнюють поверхню деталі.

При абразивно-рідинній обробці застосовують електрокорундові зерна, в суспензії їх міститься до 30-35 %. Тиск – 250МПа.



## Полірування

Поліруванням зменшують шорсткість поверхні і отримують дзеркальний блиск. Поліруванням не виправляють похибки геометричної форми, а також локальні дефекти (вм'ятини та ін.), що залишилися від попередньої обробки.

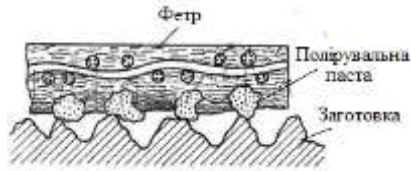


Рисунок 6.23 – Схема полірування

Застосовують круги з фетру і полірувальні пасти або абразивні зерна з мастилом.

## Хонінгування

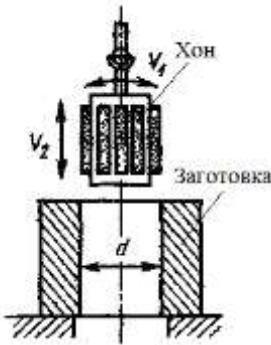


Рисунок 6.24 – Схема хонінгування

Застосовують для виготовлення отворів із високою точністю і малою шорсткістю. Усувається конусоподібність й овальність отворів, але не виправляє положення їх осей. Досягається точність отворів 5, 6-го квалітетів, а шорсткість поверхні  $Ra = 0,8-0,1$  мкм.

Хон має абразивні бруски, що рівномірно розсовуються в радіальному напрямі. Хон обертається і поступально коливається з малою амплітудою і великою частотою – на поверхні утворюється дрібна сітка рисок від абразивних зерен, що добре утримує мастило.

## Суперфінішування

Проводять після тонкого точіння, шліфування або хонінгування, чим зменшують шорсткість до  $Ra = 0,2 \dots 0,025$  мкм. Похибки попередніх обробок не усуваються.

Унаслідок суперфінішування змінюється форма мікрорізностей, вони округлюються, поверхня набуває сітчастого рельєфу.

Абразивним бруском задають спеціальні коливальні рухи з амплітудою 1,5-6,0 мм і частотою 400-1200 коливань на хвилину. При цьому вони підтискаються до оброблюваної поверхні з малими зусиллями.

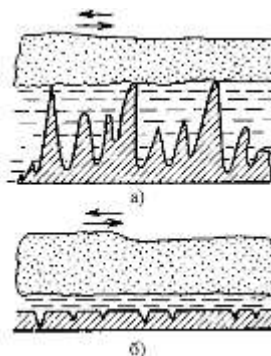


Рисунок 6.25 – Профіль поверхні при суперфінішуванні

### Притирання

Усувають незначні відхилення поверхонь від геометричних форм і розмірів (попереднє притирання) і зменшують шорсткість поверхні (остаточне притирання). Притиранням досягаються 5, 6-й квалітети, точність і шорсткість поверхні  $Ra < 0,1$  мкм. Інструментом служать притири відповідної геометричної форми, що виготовляються із м'якших матеріалів (сірого чавуну, бронзи, міді, дерева), ніж оброблюваний матеріал заготовки. На поверхню притиру наносять абразивний порошок або притиральну пасту зі зв'язувальною рідиною.

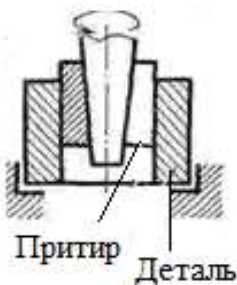


Рисунок 6.26 – Притир та схема притирання

## 6.6. Електрофізична та електрохімічна обробка

Базуються на виникненні мікророзрядів (10000-12000 °С), що призводить до розплавлення і випаровування елементарного об'єму металу.



Рисунок 6.27 – Основні різновиди фізико-хімічних методів обробки

## Електророзрядна (електроерозійна) обробка

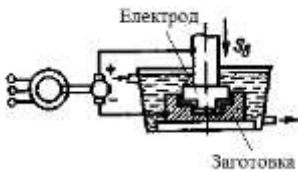


Рисунок 6.28 – Схема електророзрядної обробки

Базується на використанні імпульсного іскрового розряду між заготовкою (анод) та інструментом (катод). Застосовується для прорізання пазів, вирізання по контуру в твердих металах, сплавах. Може бути електроерозійною, електроконтактною і абразивно-ерозійною.

## Електрохімічна обробка

В основу електрохімічних методів обробки заготовок покладений принцип анодного розчинення, що спостерігається при електролізі. Може бути електрохімікогідралічною і електрохімікомеханічною.

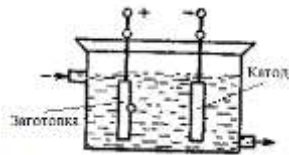


Рисунок 6.29 – Електрохімічне полірування

*Електрохімічне полірування* проводиться у ванні, заповненій електролітом, яким є розчини кислот або лугів. Катодами при обробці служать металеві пластини. При подачі напруги починається процес вибіркового розчинення металу поверхні заготовки.

## Електрохімічна розмірна обробка

Проводиться з прокачуванням електроліту під тиском між заготовкою та інструментом.

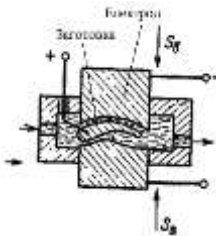


Рисунок 6.30 – Електрогідравлічна розмірна обробка

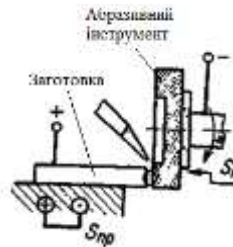


Рисунок 6.31 – Електро механічна обробка

## Електроабразивна та електроалмазна обробка

Інструментами-електродами є електропровідні шліфувальні круги. Між заготовкою-анодом та інструментом-катодом подається електроліт.

### 6.7. Зміцнювальна обробка пластичним деформуванням

Поверхнєве пластичне деформування є процесом локальної обробки, що забезпечує отримання стабільних показників за якістю поверхні.

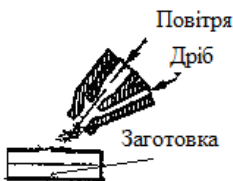


Рисунок 6.32 – Дробоструменева обробка

Дробоструменеву обробку використовують з метою зміцнення поверхні деталі сталевим або чавунним дробом. Застосовується для обробки лопаток турбін, ресор, пружин, торсійних валів, зубчатих коліс, спіральних свердел, матриць, пуансонів та ін.

Обкатування роликом і кулькою є найпоширенішим видом обробки ППД завдяки їх мобільності та простоті.



Рисунок 6.34 – Алмазне вигладжування

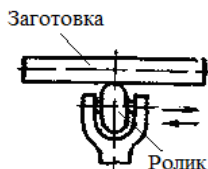


Рисунок 6.33 – Обкатування роликом і кулькою

Метод обкатування вібруючим роликом дозволяє

добитися необхідного ступеня деформації при порівняно невеликих зусиль.

Алмазне вигладжування відрізняється порівняно малою площею контакту інструмент – деталь, тому застосовується при обробці нежорстких деталей, міцних і загартованих матеріалів.

При чеканенні завдають удару ударниками з бойками по оброблюваній поверхні за допомогою механічних, пневматичних або електромеханічних спеціальних пристроїв. Після чеканення твердість поверхні зростає на 30-50 %, глибина зміцнення – до 30 мм. Добре зміцнюються чеканенням зварні шви.

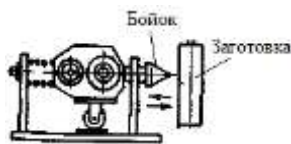


Рисунок 6.35 – Чеканення

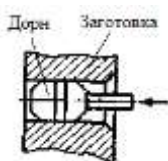


Рисунок 6.36 – Дорнування

*Дорнування* – ефективний метод калібрування та обробки внутрішніх поверхонь деталей машин. Інструмент переміщується в отворі з натягом, він є основним технологічним параметром процесу.

## Питання до розділу 6

1. Наведіть класифікацію технологічних методів обробки заготовок.
2. Дайте характеристику методів формоутворення поверхонь різанням.
3. Наведіть схему обробки заготовки різанням. Вкажіть характерні поверхні тощо. Дайте визначення параметрам процесу різання.
4. Дайте характеристику якості обробленої поверхні. Що на неї впливає?
5. Дайте характеристику процесу стружкоутворення.
6. Поясніть явище зміцнення під час різання та явище утворення наросту.
7. Поясніть ефект теплоутворення під час різання і застосування змащувально-мастильних рідин.
8. Стійкість різального інструменту.

9. Характеристика інструментальних матеріалів для лезового інструмента.

10. Наведіть класифікацію металорізальних верстатів за технологічною ознакою.

11. Дайте характеристику точіння і технологічні можливості цього способу.

12. Дайте характеристику свердлування і технологічні можливості цього способу.

13. Дайте характеристику розточування і технологічні можливості цього способу.

14. Дайте характеристику фрезерування і технологічні можливості цього способу.

15. Дайте характеристику стругання, довбання та протягування і технологічних можливостей цих способів.

16. Дайте характеристику технологічних можливостей обробки абразивним інструментом. Характеристика абразивних матеріалів.

17. Наведіть схеми і дайте характеристику технологічних можливостей шліфування.

18. Наведіть схеми і дайте характеристику технологічних можливостей чистової обробки поверхонь заготовок.

19. Наведіть порівняльну коротку характеристику технологічних можливостей електрофізичної та електрохімічної обробки.

20. Наведіть схеми і дайте характеристику технологічних можливостей зміцнювальної обробки пластичним деформуванням.

## 7. ТЕХНОЛОГІЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ТА КОМПОЗИТНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 7.1. Загальні відомості про полімерні матеріали

Пластмаси – матеріали на основі полімерів (смоли) із високою пластичністю на стадії виробництва (переробки). Мають низьку міцність, твердість, велику повзучість, низьку теплостійкість ( $-60\dots+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); низьку теплопровідність; здатність старіти – втрачати еластичність і міцність під впливом зовнішніх факторів.

Синтетичні смоли одержують полімеризацією або поліконденсацією простих речовин – мономерів (наприклад, етилену  $\text{C}_2\text{H}_4$ ).

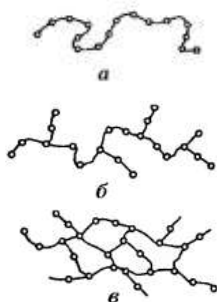


Рисунок 7.1 – Форми макромолекул полімерів:  
а – лінійна; б – розгалужена; в – сітчаста

полімерів із сітчастою структурою (гуми) в'язкоеластичний стан не настає.

За формою макромолекул полімери поділяють на лінійні, розгалужені та сітчасті.

У полімерах можлива наявність і кристалічної структури (до 50 % у лінійних полімерах).

За певного діапазону температур полімери перебувають у високоеластичному стані з  $\delta \geq 100\%$ . При вищій температурі настає в'язкоеластичний стан, схожий до рідкого. Далі полімер розкладається. У полімерів розкладається.



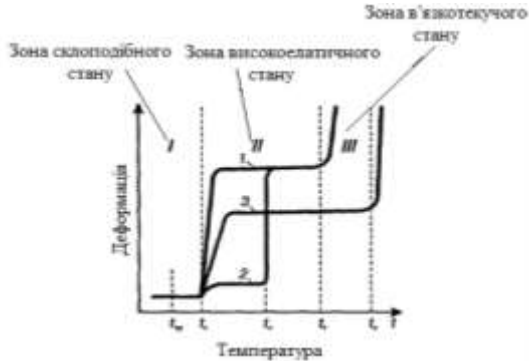


Рисунок 7.2 – Термомеханічні криві полімерів: 1 – аморфного; 2 – кристалічного; 3 – сітчастого; I – III – зони відповідно склоподібного, високоеластичного і в'язкотекучого станів

Пластмаси містять:

- *наповнювачі* (до 80 %) - підвищують міцність, зносостійкість, теплостійкість тощо. Наповнювачі (органічні або неорганічні) є у вигляді порошків, волокон або листів;

- *пластифікатори* – вводять до складу пластмас для підвищення їх пластичності (гліцерин, касторове або парафінове масло);

- *стабілізатори* – речовини, що уповільнюють руйнування пластмаси під впливом дії теплоти, світла та інших факторів (сажа, сірка, феноли);

- *мастила* – речовини, що полегшують процес пресування пластмас (віск, стеарин, олеїнова кислота);

- *барвники* – вохра, крон, родамін та ін.;

- *газоутворювальні речовини* (пірофори) – для виготовлення газонаповнених пластмас (піно- і поропластів).

## 7.2. Класифікація пластмас

Є термопластичні (термопласти) і термореактивні (реактопласти).

*Термопласти* (звичайно чисті полімери) можуть обмежено переходити з рідкого у твердий стан, але мають обмежену  $T$  робочу – до  $900^{\circ}\text{C}$ , реактопласти – один раз.

Основою *реактопластів* є смоли: феноло-формальдегідні, епоксидні тощо.

Феноло-формальдегідні (найпоширені) можуть бути термопластичними (новолачні) й терморективні (резольні).

Три стадії нагрівання терморективної смоли: рідка (резол із лінійною структурою) – еластична (резитол) – незворотно тверда (утворюється резит з сітчастою структурою).

Резит хімічно стійкий, твердий, з  $T_{робоч}$  – до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вище розкладається з утворенням стиролу, води і коксується.

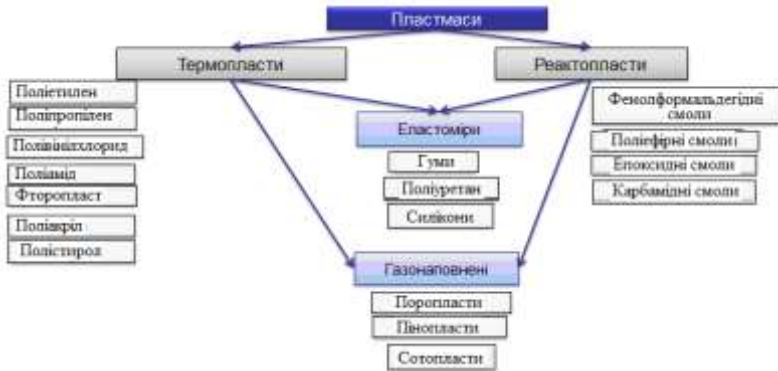


Рисунок 7.3 – Класифікація пластмас

### Термопласти

*Поліефіри* (поліестери) – поліетилентерефталат PET – продукт поліконденсації етиленгліколю і терефталевої кислоти ( $\sigma_{в} = 100\text{ МПа}$ ). Торгова марка лавсан. Пляшки для води, олії. До  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Рисунок 7.4 – Поліефіри (поліестери)



Рисунок 7.5 – Поліетилен

*Поліетилен* – продукт полімеризації етилену  $C_2H_4$ . Є високого тиску LDPE (низька щільність – пакети що шелестять) і низького тиску HDPE (висока щільність – щільні глянцевої пакети). П. стійкий до лугів, розчинів солей та кислот.



Рисунок 7.6 – Поліпропілен

*Поліпропілен* – продукт полімеризації пропілену  $CH_3-CH=CH_2$ . Подібний до поліетилену, проте більш теплостійкий (до  $140\text{ }^\circ\text{C}$ ) і твердий. Із часом виділяє вінілхлорид. Труби сантехнічні, автопластик.

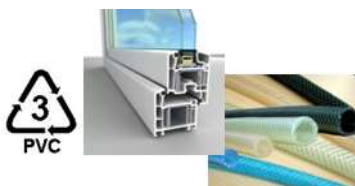


Рисунок 7.7 – Полівінілхлорид

*Полівінілхлорид (ПВХ)* – полімер хлористого вінілу  $CH_2-CHCl$ . Твердий ПВХ називається вінілпластом. Плівка, штучна шкіра, ізоляція дротів тощо.

*Поліакрилати* – на основі похідних акрилової та метакрилової кислот. Для підвищення стійкості при низьких температурах вводять пластифікатори:



Рисунок 7.8 – Полістирол

- *полістирол* – продукт полімеризації стиролу з нафти та кам'яного вугілля. Твердий, прозорий, негіроско-

пiчний, горючий, незносостiйкий, схильний до старiння.  
 $T_{робоч} 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Корпуси телефонiв, лiнзи i т. д.;



Рисунок 7.9 – Органiчне скло (акрил)

- *Органiчне скло* (акрил) – полiметилметакрилат. Воно легше i прозорiше за силiкатне, масло-, бензо- i водостiйке, пiдвищено хiмiчно стiйке, розчиняється у вуглеводнях,  $T_{робоч}$  до  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , НВ 6–10. Використовують для склiння, сувенiрiв;



Рисунок 7.10 – Полiамiди

- *Полiамiди* (капрон, нейлон) – група пластмас, у складi молекул яких є амiдна ( $-\text{NH}-\text{CO}-$ ) i метиленова ( $-\text{CH}_2-$ ) групи. Добре ллюються, достатньо мiцнi, зносостiйкi, поглинають вiбрацiю. Витримують бензин, луги, поглинають вологу та iстотно старiють. Виготовляють волокна, втулки, пiдшипники, шестернi.



Рисунок 7.11 – Фторопласти

*Фторопласти* – похiднi етилену, де атоми водню замiщенi атомами фтору. Отримують вироби шляхом пресування з порошку з подальшим спiканням, оскiльки фторопласт не плавиться, а лише розм'якшується.

*Фторопласт-3* пiдвищено хiмiчно стiйкий.  $T_{пл} = 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вище  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  – крихкий. Деталi насосiв, електроiзоляцiя.



Рисунок 7.12 – Фторопласт-4

- *фторопласт-4* високо-стійкий до концентрованих кислот і лугів.  $T_{робоч}$   $-190...+250$  °С, не горить, неігроскопічний, має низький коефіцієнт тертя і малу твердість, добрі діелектричні властивості. Труби хімічної апаратури, прокладки.

### **Реактопласти**

Основою реактопластів є смоли: феноло-формальдегідні, карбамідні, епоксидні тощо.

Феноло-формальдегідні (найпоширені) можуть бути термопластичними (новолачні) і термореактивні (резольні)

Для регулювання технологічних властивостей РП використовують розчинники, загусники і мастила, а для модифікації властивостей – пластифікатори та еластофікувальні домішки (наприклад, рідкі каучуки).

Ненаповнені РП порівняно рідко використовують як самостійні матеріали. Зазвичай вони слугують основою композитів – наповнених РП.

Основні переваги реактопластів порівняно з термопластами – значно ширші можливості регулювання властивостей.

### **Еластоміри**

Еластомір (Elastomer) – під цим терміном розуміють полімери, що мають у діапазоні експлуатації високоеластичні властивості. Називають гумою або еластомером будь-який пружний матеріал, який може розтягуватися до розмірів, що у багато разів перевищують його початкову довжину і, що суттєво, повертатися до початкового розміру, коли навантаження зняте.

Не всі аморфні полімери є еластомерами. Деякі з них є термопластами. Це залежить від його температури склування: еластомери мають низькі температури склування, а

термопластики – високі. (Це правило спрацьовує тільки для аморфних полімерів, а не для тих, що кристалізуються.)

Типові еластомери:

- різні каучуки та гуми;
- силіконовий каучук;
- поліуретан тощо.

*Гуми*

Гума має високу еластичність, пружність, опірність зношуванню, вібраційно стійка, гідро- та газонепроникна, має високі діелектричні характеристики.

Гума є продуктом переробки каучуків. Натуральний каучук добувають з рослин гевеї. Синтетичний каучук роблять з етилового спирту, ацетилену, бутану, етилену тощо:

- *бутадієновий каучук* – продукт полімеризації бутадієну з натрієм. Застосовують його для виготовлення ущільнювачів, прокладок, килимків;

- *бутадієнстирольний каучук* – продукт полімеризації бутадієну і стиролу. Із нього виготовляють покришки, камери, ущільнювачі, амортизатори;



Рисунок 7.13 – Виріб з гуми

- *бутадієннітрильний каучук* – продукт полімеризації тадієну і нітрилу акрилової кислоти. Виготовляють бензостійкі вироби, прокладки з T робочою до 140 °C;

- *ізопреновий каучук* – продукт полімеризації ізопрену за наявності літію. За своїми властивостями близький до натурального каучуку.

*Компоненти гумових сумішей:*

- вулканізаційні речовини – для твердості, міцності, тощо (сірка, натрій);

- прискорювачі вулканізації – зв'язують сірку, що не сполучилася з каучуком (оксид магнію або цинку);

- наповнювачі – зменшують витрати каучуку та підвищують властивості. Є порошкові (сажа, оксиди, крейда, тальк) і тканинні (корд, бельтинг, інші тканини);
- пластифікатори – підвищують еластичність гуми (стеаринова та олеїнова кислоти, парафін тощо);
- протистарителі – запобігають швидкому старінню гуми (ароматичні аміни тощо);
- барвники – титанові та цинкові білила, вохра тощо.;
- регенерат – перероблена гума – для невідповідальних виробів.

Основні параметри гуми:

- межа міцності 13-38 МПа при температурі 20 °С;
- відносне видовження у момент розриву 500-700 %;
- твердість;
- коефіцієнт старіння – відношення відносного видовження після нагрівання;
- коефіцієнт морозостійкості – відношення видовження при заморожуванні;
- стійкість гуми до різних рідин.

*Процес виготовлення виробів із гуми складається з:*

- приготування гумової суміші;
- виготовлення напівфабрикатів (виробів);
- вулканізації.

1. Приготування сирової гумової суміші для підвищення пластичності пропускають між підігрітими валками, змішують з порошкоподібними компонентами й одержують однорідну пластичну масу – сирину гуму.

2. Листові напівфабрикати та вироби з гуми дістають каландруванням (прокатуванням) сирової гуми; вироби складної форми – видавлюванням, пресуванням, литтям під тиском.

3. Вулканізація – обробка сирової гуми при температурі 130-150 °С і тиску 0,1-0,4 МПа. Сірка взаємодіє з лінійними молекулами каучуку, відбувається їх укрупнення та

утворення сітчастої структури – виріб стає міцнішим. Кількість сірки істотно впливає на твердість (25 % S – ебо-ніт).

### *Силікони. Силіконові гуми*

Силікони (поліорганосилоксани) – еластичний матеріал на основі кисневмісних кремнійорганічних сполук.

Силікони мають ряд унікальних якостей у комбінаціях, відсутніх у будь-яких інших відомих речовин: можливість збільшувати або зменшувати адгезію, надавати гідрофобність, працювати і зберігати властивості при екстремальних і швидкозмінних температурах або підвищеній вологості, діелектричні властивості, біоінертність, хімічна інертність, еластичність, довговічність, екологічність.

Основна структура силіконової гуми, на відміну від звичайних видів гуми, - це ланцюги з атомів кремнію і кисню з рідкісними поперечними зшиваннями. Цим і обумовлюється властивий їй деякою мірою неорганічний характер.

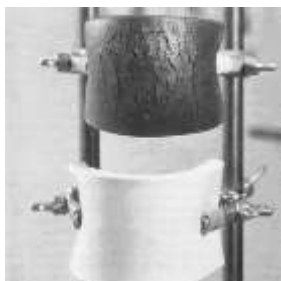
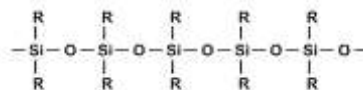


Рисунок 7.14 – Стійкість до атмосферних дій та озону силіконової гуми

також до перекису водню.

### *Поліуретани*

Поліуретани – гетероланцюгові полімери, макромолекула яких містить незаміщену і/або заміщену уретанову



Силіконова гума зберігає свої властивості практично необмежений час при температурах від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+180^{\circ}\text{C}$ .

Силіконова гума стійка до розчинів солей, киплячої води, спиртів, фенолів, різних мінеральних олій, слабких кислот і лугів, а



групу. У макромолекулах поліуретанів також можуть міститися прості та складнофірні функціональні групи, сечовина, амідна групи і інші, що визначає комплекс поліуретанів.

Поліуретани використовуються як більш технологічніший та якісніший замітник гуми при виробництві виробів, що працюють в агресивних середовищах, в умовах великих знакозмінних навантажень і температур. Діапазон робочих температур від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ .

### 7.3. Газонаповнені полімерні матеріали



Рисунок 7.15 – Пінопласти



Рисунок 7.16 – Сотопласти

лоізоляція тощо.

У *сотопластах* утворюються пустоти у вигляді бджолиних стільників, що неабияк підвищує міцнісні характеристики виробу. Сотопласти використовують у тришарових панелях (сандвіч-панелях), які є жорсткими ізоляторами.

Газонаповнені полімерні матеріали – це пластмаси з об'ємною масою  $0,03-0,30\text{ г/см}^3$  за рахунок пор, заповнених газом.

*Пінопласти* – матеріали з ізольованими порами.

*Поропласти* (губки) – матеріали зі сполученими порами.

Для спінювання використовують полівінілхлорид, полістирол, поліуретан тощо. Додають вуглекислий амоній, бікарбонат натрію (сода) тощо – від нагрівання виділяються газу. Звукоізоляція, теплоізоляція тощо.

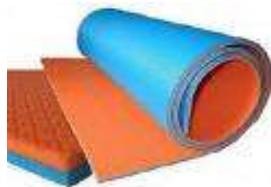


Рисунок 7.17 – Пінополіуретан

Набувають поширення також самоспінені ливарні маси на основі епоксидів (ЕПП) з густиною від 40 до 600 кг/м<sup>3</sup>.

#### 7.4. Переробка термопластичних пластмас

Залежно від фізичного стану основи, температури, а також агрегатного складу пластмаси переробляють у в'язкотекучому, високоеластичному, рідкому та твердому станах, а також зварюють і склеюють їх.

##### Переробка пластмас у в'язкотекучому стані

###### *Лиття під тиском*

Отримують вироби з термопластів на прес-ливарних машинах (нагрівання до 300 °С і тиск 10-200 МПа) високої продуктивності. Не потребують додаткової механічної обробки.

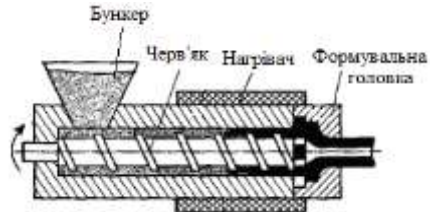


Рисунок 7.18 – Схема черв'ячного екструдера для формування труб

###### *Видавлювання (екструзія)*

Отримують труби, профілі різного перерізу, плівки, нанесення ізоляції на дріт тощо.

###### *Ливарне пресування*

Проходить у два етапи – розігрівання прес-матеріалу в камері та перетікання крізь пуансон у матрицю прес-форми, де проходить твердіння (170 °С, 70 МПа). Виготовляють скла-

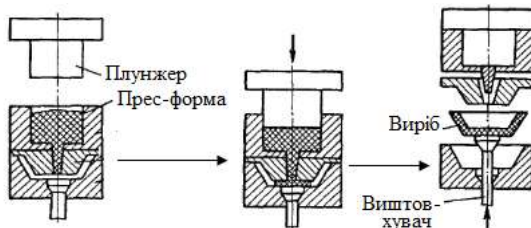


Рисунок 7.19 – Схема ливарного пресування

дні деталі з отворами, різьбою, металевою арматурою.

Пресування листів та плит проводять на гідравлічних пресах між плитами, які обігріваються парою й охолоджуються водою. Так отримують гетинакс, текстоліт тощо.

### **Переробка пластмас у високоеластичному стані**

У високоеластичному стані переробляють листові термопласти (целулоїд, оргскло, вініпласт тощо). Виготовляють вироби великих розмірів.

### *Пневматичне формування*

Листову заготовку нагрівають і стисненим повітрям 2,5 МПа притискають заготовку до матриці. Часто формують порожнисті вироби (банки, бутилі, баки) видуванням із труб-заготовок.

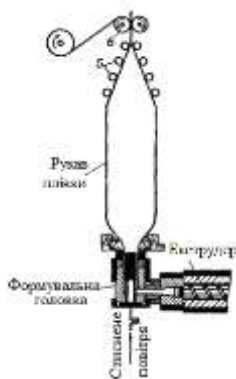


Рисунок 7.20 – Схема формування плівки

Під час виробництва плівок екструдована труба роздувається стисненим повітрям у вигляді рукава визначеного розміру.

Під час виробництва ємностей – пляшок, канистр – екструдована труба, або преформа, роздувається стисненим повітрям у відповідну форму.

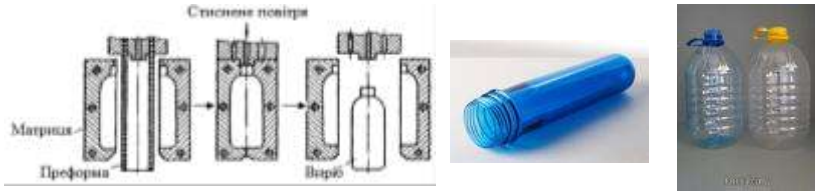


Рисунок 7.21 – Схема пневматичного формування, преформа та виріб

### *Вакуумне формування*

Відбувається за рахунок розрідження, що створюється у матриці. Заготовку попередньо розігрівають.

### *Штампування*

Складається з таких операцій:

- вирубання і пробивання, згинання та витягання;
- вирубання і пробивання застосовують для шарових пластиків;
- згинання та витягання – для термопластів (із нагріванням) аналогічно до листового металу.

Формування виробів з нагрітих листових термопластів у формах-штампах. Пуансон може бути з еластичного матеріалу. Тиск – до 1 МПа.

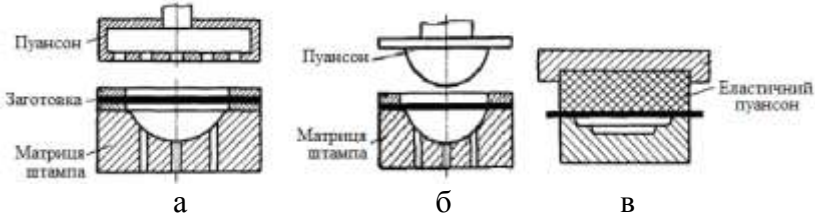


Рисунок 7.22 – Схеми штампування: а – вакуумного; б – пуансоном; в – еластичним пуансоном

### **Технологія отримання заготовок із газонаповнених пластмас:**

- гаряче твердіння у закритих формах компаундів із додаванням порофорів (пінопласти ФФ, ФК-20);

- спікання у формах термопластичних мастик на основі полістиролу або полівінілхлориду з додатком порофорів (пінопласти ПС, ПВХ);

- спікання у закритих формах порошків або гранул пластмас, насичених чи змішаних з порофорами;

- самоспінювання піноуретанів (еластмер, замінювач гуми) у відкритих формах у процесі реакції рідкої композиції ізоціанат-полієфір-активатора (пінополіуретан ППУ).

## 7.5. Композиційні матеріали

Композиційними звичайно називаються матеріали, утворені з двох чи більше різнорідних фаз і які володають характеристиками, які неможливо одержати на окремих вхідних компонентах.

До композиційних матеріалів відносять: полімери, метали, кераміку і вуглець, армовані волокнами, а також наповнені полімери, дисперснозміцнені сплави і псевдосплави.

Відмінність більшості КМ від традиційних матеріалів

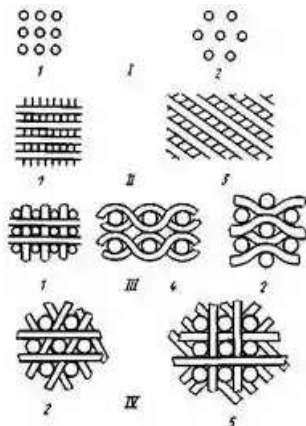


Рисунок 7.23 – Схема армування композиційних матеріалів

полягає в тому, що процес їхнього виготовлення може бути поєднаний із процесом виготовлення виробу що може істотно підвищити властивості виробу.

Якщо один з компонентів КМ безперервний у всьому обсязі КМ, а інший є переривчастим, роз'єднаним в обсязі композиції, то перший компонент називають матрицею, а другий – армувальним елементом чи арматурою.

КМ із металевою матрицею називають металевими компози-

ційними матеріалами (МКМ), з полімерною – полімерними (ПМК), з неорганічною – неорганічними (НКМ).

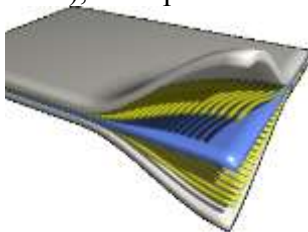


Рисунок 7.24 – Шарований композиційний матеріал Рисунок 7.25 – Полістиролбетон

### КМ із металевою матрицею (МКМ)

При створенні композитів на основі металів як матрицю застосовують алюміній, магній, нікель, мідь і так далі. Наповнювачем служать або високоміцні волокна, або тугоплавкі частки різної дисперсності, що не розчиняються в основному металі.

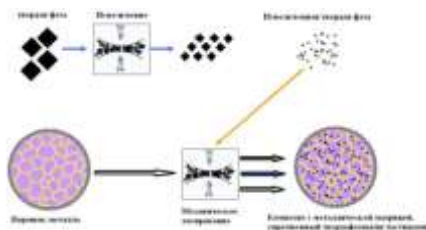


Рисунок 7.26 – Схема армування композиційних матеріалів

Додавання 5-10 % армувальних наповнювачів (тугоплавких оксидів, нітридів, боридів, карбідів) збільшує опірність

навантаженням.

навантаженням.

Дисперснозміцнені металеві композити отримують, вводячи порошок наповнювача в розплавлений метал, або методами порошкової металургії.

Наприклад, сплави алюмінію, армовані волокнами бору, можна експлуатувати при температурах до 450-500 °С замість 250-300 °С.



Рисунок 7.27 – КММ – сплав алюмінію AA6061/NiTi.

## Композити на основі кераміки (НКМ)



Рисунок 7.29 – Стандартні пластини з високотемпературної кераміки

Керамічні композиційні матеріали отримують методами гарячого пресування (таблетування з подальшим спіканням під тиском) або методом шлікерного литва (волокна заливаються суспензією матричного матеріалу, яка після сушіння також піддається спіканню).

## Полімерні композитні матеріали (ПКМ)

У переважній більшості полімерні композитні матеріали створюються на основі реактопластів.



Рисунок 7.30 – Волокна скла

*Скловолоніт* – пластик на основі термореактивних смол із наповнювачем – різаним скловолокном. Межа міцності – 250-270 МПа. Водостійкий, вогнестійкий, ізоляційний і фрикційний матеріал.

Армування кераміки ( $Al_2O_3$ , SiO) дисперсними металевими частками дає нам новий матеріал – *кермет* із підвищеною тепловою стійкістю, твердістю, міцністю. З керметів роблять деталі для ракетної і реактивної техніки, різальних інструментів тощо.

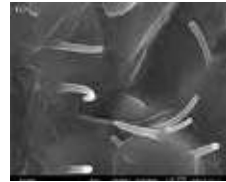


Рисунок 7.28 – Карбід кремнію, армований вуглецевими волокнами

*Волоніт* – пластмаса на основі феноло-формальдегідної смоли з наповнювачем із бавовняної целюлози. Шківи, шестерні тощо.



Рисунок 7.31 – Скловолоніт

*Скловолоконний анізотропний матеріал (СВАМ)* – з орієнтованими довгими скляними волокнами, просоченими смолою. Міцність – 480-560 МПа. Для хімічно стійких труб, резервуарів, човнів тощо.

*Азбоволокніт* складається з азбестового волокна (мінерал) і домішок (тальку). Він водо- і теплостійкий, має хороші електроізоляційні властивості.  $T_{робоч}$  – 200-300 (має до 600 °С). Не горючий. Теплоізолятор. Для деталі, які мають протистояти дії нагрівання.



Рисунок 7.32 – Флубон

*Флубон* – на основі фторопласту з наповнювачем - вуглецевим волокном.

### *Шарові пластики - композити*

Шарові пластики мають наповнювач, що утворює шари в отриманому композиті.



Рисунок 7.33 – Текстолітові шестерні

- *текстоліт*. Наповнювач – бавовняна тканина.  $T_{робоч}$  – 60-150 °С. Міцність – до 650 МПа. Шестерні, вкладиші підшипників, електроізоляція;

- *склотекстоліт*. Наповнювач – склотканина.  $T_{робоч}$  – 200 °С. Більш стійкий хімічно. Конструкційний і електроізоляційний матеріал;

- *азботекстоліт*. Наповнювач – азбестова тканина.  $T_{робоч}$  – 250°С. Гальмівні колодки, деталі механізмів зчеплення;



Рисунок 7.34 – Гетинаксова плата

- *гетинакс*. Наповнювач - аркуші спеціального паперу.  $T_{робоч}$  – від -60 до +70 °С. Електроізоляційний матеріал.



*Деревинно-шарові пластики (ДСП).* Тонкі листи лущеної деревини (шпону), просочені й склеєні між собою смолами. Підшипники, втулки, шестерні, електротехнічні деталі.

### **Технологія отримання заготовок із полімерних композитних матеріалів**

Існує значна кількість технологічних способів отримання заготовок із ПКМ:

- пресування з формувальної маси (преміксів);
- пресування скломатів і (або) задалегідь формованих скловолокнистих заготовок;
- формування з листових заготовок (препрегів);
- пультрузія;
- метод безперервного формування;
- намотування волокон;
- попереднє формування скловолокнистих заготовок;
- напилювання;
- контактне формування;
- інжекційне пресування;
- ротаційне формування;
- формування за допомогою еластичного мішка під вакуумом;
- формування виробів за допомогою пластичного мішка під тиском;
- холодне пресування;
- холодне штампування;
- відцентрове лиття;
- викладення вручну.

За умов одиничного виробництва раціональним є застосування способів, що не вимагають використання матриць: викладення вручну, намотування тощо. Такі способи дозволяють отримати заготовки, що потребують подальшої обробки зовнішніх поверхонь. Більшість інших способів застосовні для серійного виробництва і вимагають викори-

стання матриць, штампів тощо. В такий спосіб отримують заготовки, для яких не потрібна (або зведена до мінімуму) подальша механічна обробка.

### *Викладення вручну*

Для контактного формування використовують негативну форму (матрицю) або позитивну форму (пуансон), ви-

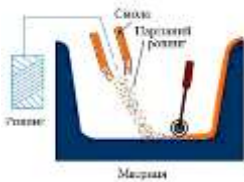


Рисунок 7.35 – Схема формування напилюванням

готовлені з металу, пластмас, армованих пластиків або їх сполучення. Склопат, або тканий склонаповнювач, розміщують вручну на поверхні форми, наносять кистями зв'язувальне та обкатують формований виріб валиком для видалення повітря й ущільнення матеріалу.

Процес дещо механізується використанням вихрового напилення – скловолокно рубається і потоком повітря подається на поверхню форми. Одночасно наноситься смола із застуджувачем.

Процес дещо механізується використанням вихрового напи-

лення – скловолокно рубається і потоком повітря подається на поверхню форми. Одночасно наноситься смола із застуджувачем.

### *Інжекційне пресування*

Належить до високопродуктивних процесів. Може використовуватись як впорскування попередньо розігрітої суміші у відносно холодну форму, так і завантаження сухої суміші полімеру, армувального наповнювача, пігментів тощо і подальше розігрівання для проходження процесів полімеризації.

Змішування компонентів може відбуватися безпосередньо в ливарній машині при окремому завантаженні інгредієнтів.

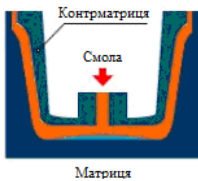


Рисунок 7.36– Інжекційне пресування (серійне виробництво)

домашніх пральних машин, клапани, кожухи насосів, обручі, двері; корпуси комп'ютерів і облікових машин; конструкційні деталі; шестерні невеликого діаметра, кільцеві зубчасті деталі.

Типові деталі, що отримуються цим методом: деталі машин для миття посуду, наприклад кожухи насосів, роздавальний пристрій для мийних засобів, та інші механічні деталі; трубки і мішалки для

## 7.6. Особливості технології обробки пластмас різанням

Пластмаси піддаються всім видам обробки різанням з певними обмеженнями:

- низька теплопровідність пластмас сприяє значному нагріванню інструмента, оплавленню термопластів і припиканню або обвугленню реактопластів. Передні та задні поверхні інструменту полірують, хромують, передній та задній кути роблять більшими.

Для пластмас із абразивними наповнювачами (кварцом, азбестом, скловолокном та ін.) застосовують тверді сплави.

Охолодження термопластів здійснюють водою, реактопластів – стисненим повітрям.

## 7.7. Зварювання термопластичних пластмас

Зварюванням з'єднують термопласти, в т. ч. композити на основі термопластів. Зварюваність різних пластиків різнана (чотири групи) і характеризується шириною температурного інтервалу текучості  $T_t$  і мінімальною в'язкістю  $B$  у цьому інтервалі.

Способи зварювання: нагрітим газом, екструзійне, нагрітим інструментом, тертям, з нагріванням випромінюванням або СВЧ, ультразвукове.

### **Зварювання нагрітим газом**

Виконують із застосуванням присадного матеріалу (прутка), однакового з основним матеріалом. Застосовують електричні або газові пальники з  $T_{робочою}$  250-380 °С. При зварюванні прогрівають як основний матеріал, так і присадний (є спеціальні насадки).



Рисунок 7.37 – Схема зварювання нагрітим повітрям

### **Екструзійне зварювання**

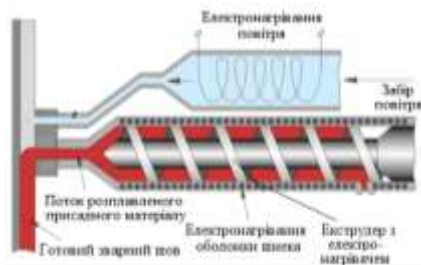


Рисунок 7.38 – Екструзійне зварювання

В екструдері пластик розплавляється, подається до місця стику під певним тиском, розплавляє місце стику і утворює шов.

### **Зварювання нагрітим інструментом**

Застосовують для з'єднання плівок, листів, труб, профілів. Кромки поверхонь розігрівають інструментом і стискають із певним зусиллям.

### **Зварювання тертям**

Оскільки пластмаси мають низьку теплопровідність, від тертя кромки швидко нагріваються. Застосовують вібротертя та обертове тертя.



### **Зварювання струмом високої частоти (СВЧ)**

Здійснюється за рахунок розігрівання матеріалу електромагнітним полем від внутрішнього тертя заряджених частинок, які входять в атоми та молекули діелектрика. Частота до 80 МГц, у НВЧ – до 2500 МГц.

Рисунок 7.39 – Зварювання нагрітим інструментом

### **Зварювання ультразвуком**

Полягає в низькоамплітудній вібрації, що призводить до тертя, розігріву і зварювання поверхонь при коливанні із частотою до 50 кГц. Розрізняють пресове (спец. насадками) і безперервне зварювання. Зварюють плівки, синтетичні тканини тощо.

### **Зварювання випромінюванням**

Ґрунтується на властивості пластмас поглинати променеву енергію і від цього нагріватися. Розрізняють способи зварювання: інфрачервоним випромінюванням; світлом видимого діапазону; лазером.

Плівки зварюють унапуск, листи, труби, профіль – у стик.

## **7.8. Склеювання пластмас**

Склеювання – процес з'єднання деталей клейкими речовинами, які за допомогою адгезійного (один матеріал) та когезійного (різний матеріал) зв'язку з'єднують деталі, не змінюючи істотно їх структури і властивостей.

### **Склеювання термопластів**

Застосовують різні органічні розчинники, що полегшують дифузію макромолекул полімерів. До розчинника додають подрібнений наповнювач. З'єднують органічне скло, полістирол, полівінілхлорид, поліамід тощо.

### **Склеювання реактопластів**

Застосовують складні речовини – клеї. До складу клею входять: основа (полімер) наповнювачі, розріджувачі, прискорювачі, затверджувальні речовини. Є клеї гарячого (феноло-формальдегідні) та холодного (епоксидні, поліуретанові) твердіння.

## **7.9. Покриття пластмасами**

Пластмаси широко застосовують як недорогі захисні, декоративні покриття. Можуть бути: покриття з рідких компаундів і замазок, покриття із суспензій, покриття з порошків.

*Покриття з рідких компаундів і замазок* – покривні компаунди готують на основі термореактивних смол.

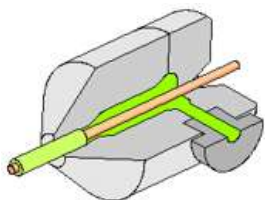


Рисунок 7.40 – Екструзійне покриття ізоляцією дроту

*Покриття із суспензій* роблять методом спікання, частіше з фторопластів, які наносять як фарбу, потім оплавляють.

*Покриття з порошків.* Порошки термопластів на гарячій поверхні металу оплавляються, утворюючи плівку. Покриття з порошків наносять вихровим, струминним або електростатичним способом.

*Покриття з розплаву* роблять екструзійним і відцентровим способами. Екструзійним – електроізоляція на дроті.

*Покриття плитками, листами, плівками* виконують футеруванням (обкладанням) на клеях або замазках, плакуванням, намотуванням або накочуванням. Плакування – покривання листової сталі полімерною плівкою на багато валковій установці. Такий матеріал називають металопластом.

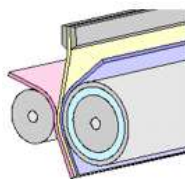


Рисунок 7.41 – Металопласт

### **7.10. Лакофарбові покриття**

Лакофарбові матеріали – речовини, що після висихання залишають тонкі плівки, міцно зчеплені з поверхнею. Застосовують для захисту і як декоративні покриття. Можуть бути одно- і багатошаровими. В багатошарових покриттях: перша ґрунтовка (міцне зчеплення та заповнення пор), потім шар шпаклівки для вирівнювання поверхні і насамкінець покривний шар.

#### **Склад лакофарбових матеріалів**

Складаються із плівкоутворювальних речовин, розчинників, пігментів, наповнювачів, пластифікаторів, сикативів та інших добавок.

Плівкоутворювальні речовини – основа. Можуть бути: рослинна олія (оліфа), природні (янтар, шлак, каніфоль, асфальти), синтетичні смоли, ефіри целюлози.

Розчинники – органічні речовини, призначені для розчинення плівкоутворювальних компонентів. Є вуглеводи (уайт-спірит, толуол), ефіри (етилацетат, бутилацетат), спирти (бутиловий, етиловий) та ін.

Пігменти – порошкові речовини, які є барвниками, а також підвищують захисні властивості: білила цинкові, вохра, оксид хрому та ін.

Наповнювачі – надають покриттю необхідних фізико-механічних властивостей, зменшують вартість (талък, гіпс тощо).

Пластифікатори – органічні речовини, що зберігають еластичність покриття (дибутилфталат та ін.)

Сикативи – солі органічних кислот що підвищують швидкість висихання масляних матеріалів (нафтенанти кобальту, свинцю, цинку).

Лакофарбові матеріали можуть мати також інші домішки: стабілізатори, антистатика тощо.

### **Види лакофарбових матеріалів**

Залежно від призначення лакофарбові матеріали поділяють на лаки, фарби (емалі), ґрунтовки, шпаклівки.

Лаками утворюють прозорі плівки. Фарби – це композиції зазначених вище компонентів лакофарбових матеріалів. Якщо плівкоутворювач – оліфа, то це масляні фарби, а якщо основа лак – то це емалі.

Ґрунтовки і шпаклівки – це емалі або фарби зі збільшеною кількістю пігментів і наповнювачів для густої консистенції.



Рисунок 7.42 – Фарборозпилювач

Підготовлюється поверхня під нанесення лакофарбових матеріалів механічним, хімічним або термічним способом.

Фарби (лаки) наносяться в ручний спосіб пензлями, пневматично і рідким розпиленням, наноситься в електричному полі:

- пневматичне утворює туман під дією стисненого повітря;
- при рідкому діє гідравлічний тиск – для в'язких матеріалів;
- в електричному полі частинки заряджаються й осідають на виріб із протилежним зарядом.



При висиханні матеріалів на основі термопластів випаровуються розчинники, в термореактивних – проходить полімеризація (поліконденсація).

Сушіння є природним або штучним (підвищені температури). Штучне підвищує адгезію, твердість.

Штучне сушіння може бути конвекційним (гаряче повітря) і терморадіаційним (поглинання поверхнею теплової енергії випромінювання).

### **Питання до розділу 7**

1. У чому полягають переваги та недоліки неметалічних матеріалів порівняно з металами?
2. Назвіть особливості та склад пластмас.
3. Наведіть класифікацію пластмас. Дайте пояснення.
4. Наведіть приклади основних термопластів. Їх властивості, галузь застосування.
5. Наведіть приклади основних реактопластів. Їх властивості, галузь застосування.
6. Зробіть порівняльну оцінку основних еластомірів.
7. Технологія отримання виробів із гуми.
8. Наведіть приклади газонаповнених полімерних матеріалів. Їх властивості, отримання, галузь застосування.
9. Дайте оцінку технологічним способам переробки пластмас у в'язкотекучому стані.
10. Дайте оцінку технологічним способам переробки пластмас у високоеластичному стані.
11. Дайте оцінку технологічним способам переробки пластмас у твердому стані.
12. Класифікуйте композиційні матеріали. Дайте загальну порівняльну оцінку.
13. Охарактеризуйте КМ із металевою матрицею, керамічною основою. Їх властивості, галузь застосування.

14. Наведіть приклади основних полімерних композиційних матеріалів ПКМ. Їх властивості, галузь застосування.

15. Стисло охарактеризуйте основні технологічні способи отримання заготовок з полімерних композитних матеріалів.

16. Дайте визначення технологічних можливостей обробки різанням пластмас та ПКМ.

17. Дайте визначення технологічних можливостей зварювання термопластичних пластмас.

18. Дайте визначення технологічних можливостей склеювання пластмас.

19. Охарактеризуйте можливості технології покриття пластмасами та галузь застосування.

20. Дайте визначення лакофарбових матеріалів. Їх склад, особливості технології нанесення.

## **8. КУРСОВА РОБОТА. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ. ЗАВДАННЯ. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ**

### **8.1. Теоретичні засади**

Одним із основних принципів вибору методу отримання заготовки є забезпечення максимального наближення її форми, розмірів і якості поверхні до аналогічних характеристик отримуваної деталі. В цьому разі істотно скорочуються витрати металу, обсяг механічної обробки і виробничий цикл виготовлення деталі. Проте при цьому в заготівельному виробництві збільшуються витрати на технологічне устаткування та оснащення, їх ремонт і обслуговування. Тому при виборі методу отримання заготовки потрібно робити техніко-економічний аналіз двох етапів виробництва - заготівельного і механообробного.

В одних випадках можна виготовляти заготовку, що максимально наближається за якісними показниками (розмірами, формою, шорсткістю поверхні, механічними властивостями, хімічним складом, якістю поверхневого шару матеріалу) до вимог готової деталі, що скорочує втрати, пов'язані з її перетворенням на готову деталь. Проте вартість такого напівфабрикату зростає зі збільшенням міри його наближення до вимог готової деталі й підвищенням рівня самих вимог.

Отже, з декількох можливих варіантів перетворення напівфабрикату в готову деталь необхідно використати найбільш економічний за умови відповідності властивостей.

#### **8.1.1. Основні принципи вибору методу отримання заготовки**

*Продукція (напівфабрикати) металургійного виробництва.* Сучасне машинобудування випускає широку номе-

нклатуру сортового і профільного матеріалу, з якої для ряду деталей підбирають необхідні напівфабрикати.

Якщо для виготовлення деталі не можна підібрати напівфабрикат, що дозволяє перетворити його відразу в готову деталь, доводиться вибирати інший вид напівфабрикату, що дозволяє перетворити його спочатку, з найменшими втратами і витратами, в заготовку, що наближається за вимогами до готової деталі, а потім у готову деталь.

У таких випадках як напівфабрикат використовується продукція металургійного виробництва у вигляді:

1) метал у зливках – для виготовлення заготовки шляхом литва;

2) сортовий матеріал у вигляді прутка, листа, стрічки або дроту для виготовлення кованих, штампованих, зварних, висаджених, штампувально-зварних, ливарно-зварних та інших видів заготовок.

Вибір напівфабрикату і розроблення технологічного процесу його перетворення спочатку на заготовку, а згодом і на готову деталь дають найбільш високі техніко-економічні показники, якщо ці питання розробляються комплексно й одночасно з розробленням конструкції виробу і його деталей.

В умовах металургійного виробництва машинобудівні профілі виготовляють прокатуванням, пресуванням і волочінням. При цьому отримують напівфабрикат у вигляді сортових профілів, листового прокату, труб і періодичних профілів. Прокат випускають гарячекатаним і каліброваним. Деталі, виготовлені з каліброваних профілів, відрізняються високою точністю розмірів і низькою шорсткістю поверхні.

Сортові профілі поділяють на профілі простої геометричної форми (квадрат, круг, шестигранник, прямокутник) і фасонні (швелер; рейка; кутовий, тавровий профілі тощо). Листовий метал є: товстолиста сталь (завтовшки

4...60 мм), тонколистова сталь (завтовшки менше 4 мм) і фольга (завтовшки менше 0,2 мм).

Труби можуть бути безшовними і зварними. Безшовні труби використовують у найбільш відповідальних трубопроводах, і як пустотілі заготовки валів.

Періодичні профілі мають форму, що змінюється, і площу поперечного перерізу вздовж осі заготовки. Їх застосовують як фасонні заготовки для подальшого об'ємного штампування і механічної обробки різанням.

Гнуті профілі застосовують під час виготовлення виробів для машинобудування, автомобільної та авіаційної промисловості, будівельних конструкцій.

Технологічні можливості основних методів формоутворення металевої заготовки.

У сучасному машинобудуванні для отримання заготовок деталей використовується велика кількість різноманітних технологічних процесів і їх поєднань.

Основними з цих процесів є:

1) різні способи литва (у піщані форми, в опоки, кокільне, відцентрове, за моделями, що виплавляються, в оболонкові форми, під тиском, з використанням вакууму);

2) різні способи пластичного деформування металів (вільне кування, кування в підкладних штампах, штампування на молотах і пресах, періодичне і поперечне прокатування, висадження, видавлювання);

3) різання;

4) зварювання;

5) паяння;

6) комбінованих способів штампування – зварювання, лиття-зварювання і т. д.;

7) порошкової металургії та ін.

Для отримання заготовок зі сталі та кольорових металів з деформованою макроструктурою, що мають форму і розміри, близькі до форми деталей машин, доцільно засто-

совувати метод обробки тиском (кування, об'ємне і листове штампування).

*Кування* застосовують для виготовлення заготовок в одиничному виробництві шляхом пластичного деформування профілів або зливків. Під час виробництва великих і унікальних заготовок масою до 250 т кування - єдино можливий спосіб обробки тиском.

Заготовки, отримані *об'ємним штампуванням*, відрізняються більш високою точністю розмірів, якістю поверхневого шару порівняно з кованими поковками. Застосування цього виду обробки тиском для отримання заготовок деталей машин економічно доцільно в умовах великосерійного і масового виробництв. Під час виготовлення поковок об'ємним штампуванням застосовують сортові й періодичні профілі масою менше 400 кг. За точністю і шорсткістю поверхонь заготовки, що отримуються холодним об'ємним штампуванням, не поступаються виробам, що виготовляються спеціальними способами литва. При цьому механічні властивості поковок вищі, ніж виливків.

*Листовим штампуванням* виготовляють найрізноманітніші плоскі й просторові вироби масою від часток грамів до десятків кілограмів. Як напівфабрикат при листовому штампуванні використовують отримані прокатуванням листи, смуги або стрічки, товщина яких зазвичай не перевищує 10 мм. При заданій міцності й жорсткості цим видом обробки тиском отримують вироби мінімальної маси з високою точністю розмірів і якістю поверхні. Це дозволяє скоротити кількість технологічних операцій механічної обробки різанням.

Методами *порошкової металургії* отримують заготовки, які за розмірами і формою близькі до форми і розмірів деталей, тому під час виготовлення виробів потрібен невеликий обсяг механічної обробки. Технології порошкової металургії дозволяють практично повністю виключити з виробництва звичайні металургійні процеси, а також знач-

но поліпшити екологічні умови. Коефіцієнт використання металу збільшується до 0,98, продуктивність праці зростає удвічі порівняно з виготовленням деталей із сортових профілів, що отримуються в умовах металургійного виробництва.

*Методом лиття* отримують заготовки практично будь-яких розмірів, як простої, так і дуже складної конфігурації. При цьому виливки можуть мати складні внутрішні порожнини з криволінійними поверхнями, що перетинаються під різними кутами. Точність розмірів і якість поверхні заготовки залежать від способу литва. Виливки можна виготовляти практично з усіх металів і сплавів. Часто при неправильному розрахунку у виливках у масивних частинах утворюються дефекти (усадкові раковини, пористість, гарячі й холодні тріщини).

*Зварні заготовки* виготовляють різними видами зварювання – від електрошлакової до зварювання тертям. У ряді випадків зварювання спрощує виготовлення заготовок складної конфігурації. Слабким місцем зварної заготовки є шов або біляшовна зона. Як правило, їх міцність нижча, ніж основного металу. Крім того, неправильна конструкція заготовки або технологія зварювання можуть привести до дефектів (викривлення, пористість, тріщини), які важко виправити подальшою обробкою. Заготовки складної конфігурації дають значний економічний ефект під час виготовлення елементів виробів штампуванням, литвом, прокатуванням з подальшим з'єднанням їх зварюванням. Такі заготовки застосовують у процесі виготовлення великих колінчастих валів, станин ковальсько-пресового устаткування і т. п.

### **8.1.2. Чинники, що визначають вибір методу отримання заготовки**

Метод отримання тієї або іншої заготовки залежить від службового призначення деталі та вимог, що ставлять до

неї, а також від її конфігурації і розмірів, марки матеріалу, типу виробництва та інших чинників.

### *Вплив розмірів та конфігурації деталі на вибір методу отримання заготовки*

Найскладніші за конфігурацією заготовки можна виготовляти методом литва. Вироби, що отримуються методом обробки тиском, мають бути простішими за формою. Виготовлення в поковках отворів і порожнин об'ємним штампуванням у ряді випадків ускладнене, а використання напуску різко збільшує обсяг подальшої механічної обробки.

Розміри заготовок, що отримуються методами литва та обробки тиском, практично не обмежуються. Нерідко визначальним параметром у цьому разі є мінімальні розміри (наприклад, мінімальна товщина стінок вилівка, мінімальна маса поковки). Об'ємним штампуванням і більшістю спеціальних способів литва отримують заготовки масою до декількох десятків або сотень кілограмів.

Форма та розміри заготовок, що отримуються методами порошкової металургії, обмежені як максимальними, так і мінімальними розмірами. При цьому площа поперечного перерізу виробів, отримуваних холодним формуванням порошків з подальшим спіканням, може бути від  $50 \text{ мм}^2$  до  $6000 \text{ мм}^2$ , висота – від 2 до 60 мм, а маса заготовок, як правило, не перевищує 10 кг.

### *Вплив типу матеріалу на вибір методу отримання заготовки*

У процесі конструювання деталей вибір марки матеріалу визначається не лише умовами її функціонування, а й умовами виготовлення в реальному виробництві. В той же час технологічні властивості матеріалу істотно впливають на вибір методу і способу отримання заготовок. Так, сірий



чавун має прекрасні ливарні властивості, але він не пластичний і має незадовільну зварюваність.

Заготовки з одного і того самого матеріалу, отримані методами лиття, обробки тиском і зварюванням, мають різні властивості. Так, литий метал характеризується великим розміром зерен, неоднорідністю хімічного складу і механічних властивостей по перерізу відливку, наявністю залишкових напружень тощо.

Після обробки тиском заготовки мають дрібнозернисту структуру і певну спрямованість розташування волокон (неметалічних включень). Після холодної обробки тиском виникає явище наклепу, тому холоднокатаний метал міцніше литого в 1,5-3 рази. Пластична деформація металу призводить до анізотропії властивостей: міцність уздовж волокон (неметалічних включень) приблизно на 10-15 % вище, ніж у поперечному напрямі (незалежно від температурних умов деформування). Таким чином, за інших однакових умов, лише за рахунок вдалого застосування технології можливо отримати збільшення міцності деталі.

Зварювання призводить до утворення неоднорідних структур у зварному шві та біляшовній зоні. Неоднорідність залежить від виду і режиму зварювання. Так, найбільш різка відмінність у властивостях зварного шва виникає при ручному зварюванні, а електрошлакове, автоматичне дугове зварювання забезпечують формування найбільш якісних однорідних швів.

### *Вплив програми випуску продукції на вибір методу отримання заготовки*

Програма випуску продукції, тобто кількість виробів, що випускаються впродовж певного часу (зазвичай за рік), є одним із найважливіших чинників, що визначають вибір методу і способу виробництва заготовок.

В умовах одиничного виробництва і для простих за конфігурацією деталей часто заготовками є профілі (сор-

товий прокат, труби і тощо), що отримуються в умовах металургійного виробництва. Вартість механічної обробки заготовок під час виготовлення деталей у цьому разі висока. Проте така заготовка може бути досить економічною через низьку вартість прокату, майже повну відсутність підготовчих операцій і можливість автоматизації процесу механічної обробки.

При великосерійному і масовому виробництві форму заготовок потрібно максимально наближати до конфігурації деталі. Наприклад, для виготовлення ступінчастого вала із сталі 45 доцільно застосувати поковку, що отримується об'ємним штампуванням.

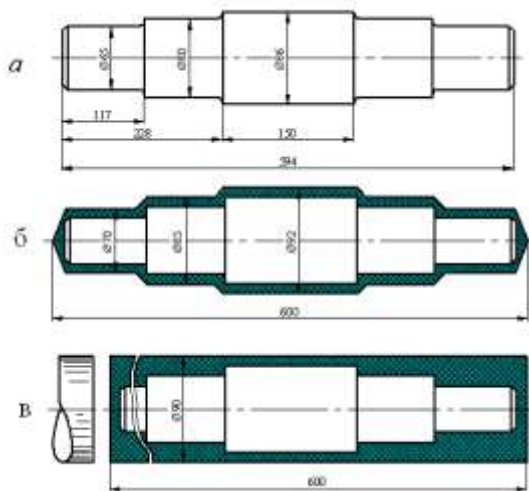


Рисунок 8.1 – Вал ступінчастий: а – деталь; б – штампована поковка; в – заготовка з гарячекатаного прокату

Найбільш ефективними технологічними способами виготовлення заготовок при великосерійному і масовому виробництві є спеціальні види прокатування (поперечно-гвинтове, поперечно-клинове, прокатування у гвинтових калібрах), які дозволяють отримати періодичні профілі.

Застосування таких заготовок дає можливість підвищити коефіцієнт використання матеріалу і продуктивність праці.

### *Вплив можливостей підприємства*

Вплив можливості підприємства, на якому передбачається їх виготовлення, на вибір методу отримання заготовки, такий

При конструюванні деталей необхідно враховувати можливості підприємства, на якому передбачається їх виготовлення. Для цього необхідно мати в розпорядженні відомості про тип і кількість наявного устаткування, виробничі площі, можливості ремонтної бази, допоміжних служб тощо.

## **8.2. Застосовність методів отримання заготовки для типових деталей**

### **8.2.1. Отримання заготовок корпусних деталей**

Корпусні деталі відрізняються великою різноманітністю конструктивних форм, розмірів, маси та матеріалів. Нині найбільш поширеними технологічними процесами виготовлення заготовок корпусних деталей є литво у піщані форми, меншою мірою – різання-згинання-зварювання, штампування-зварювання і лиття-зварювання.

Основні переваги отримання заготовок литтям – відносно невеликі витрати на виготовлення форм для одного виливка; недоліки – невисока точність виливків, що є наслідком використання дерев'яних моделей, збільшення розмірів і спотворення форм, що отримуються при "розміщення" моделей перед їх вилученням з форм; недостатньо висока точність виготовлення стержнів і складання форм; великі ливарні ухили, велика трудомісткість, тривалий цикл формування, спотворення виливка внаслідок нерівномірного ущільнення форми в різних її частинах тощо.

Ці особливості обмежують галузь економічного використання зазначеного способу лиття виробництвом одиничних або таких, що виготовляються в невеликих кількостях великих деталей, а також заготовок, які не можуть бути отримані за допомогою інших способів.

Прикладами таких деталей можуть служити станини, траверси та стійки важких верстатів, станини шестерінчастих клітей, корпуси редукторів, станини силових лебідок, статори, кришки редукторів, гідротурбін та ін.

Під час виготовлення виливків корпусних та інших деталей у машинобудуванні використовуються процеси, що значно наближають заготовки до вимог, що ставлять до готових деталей. Основним із них є лиття в оболонкові форми (оболонкові вставки), що виготовляються з хімічно тверднучих сумішей із рідким склом.

Досить широко для отримання заготовок великих деталей застосовують комбінований метод, коли заготовку ділять на ряд простих частин, кожна з яких виходить за допомогою лиття. Подальшим зварюванням окремі частини з'єднуються з утворенням ливарно-зварної заготовки деталі.

Основними перевагами розглянутих способів отримання заготовок є усунення витрат на виготовлення дорогих моделей, значне скорочення циклу виготовлення, економія металу і зазвичай менша трудомісткість виготовлення. Багато відповідальних зварних заготовок корпусних деталей складних конструктивних форм вимагають відпалу для зниження залишкового напруження, що утворюється при зварюванні.

Незважаючи на відмічені недоліки, ці способи отримання великих заготовок знаходять досить широке застосування, особливо під час виготовлення деталей великих габаритних розмірів і маси, лиття яких цілком трудомістке, вимагає багато часу і пов'язане з ризиком отримання неоправданого браку.

Менш великі заготовки деталі отримують за допомогою лиття в опоках (двох і більше) з використанням ручної, піскометального і машинного формувань. Ручне формування навіть із використанням пневматичних трамбовок та інших засобів механізації відрізняється малою продуктивністю і отриманням відливок відносно невисокої точності. Тому воно використовується в основному при отриманні заготовок деталей, що виготовляються одинично або в малих кількостях.

Машинне формування порівняно з ручною має переваги: 1) більш висока точність форм при видаленні з них моделей; 2) можливість зменшення формувальних ухилів; 3) отримання форм з великою міцністю й однорідністю ущільнення внаслідок механізації ущільнення; 4) менша трудомісткість формування з використанням менш кваліфікованої праці.

Унаслідок застосування машинного формування вилити виходять точнішими за розмірами і геометричними формами, з меншими коливаннями за масою.

Досить широке застосування знаходить отримання заготовок корпусних деталей, столів, плит за допомогою кокільного литва, при якому використовується поєднання металевої форми з піщаним стрижнем. Економічна ефективність цього виду заготовок значною мірою залежить від вартості виготовлення сталих металевих форм.

Заготовки, отримані кокільним литвом, характеризуються точністю і правильністю геометричних форм (меншими припусками на обробку і меншими їх коливаннями). Результатом є економія металу і скорочення трудомісткості механічної обробки виливків.

Для виготовлення литих заготовок дрібних корпусних і ряду інших деталей використовується литво під тиском до 10 МПа і більше.

Це дозволяє скоротити трудомісткість механічної обробки виливків, що отримуються литвом під тиском, на 80-85 % порівняно зі звичайними литими заготовками.

Для виготовлення заготовок ряду корпусних та інших деталей середніх розмірів використовують штампування, зварювання, різання, згинання. Заготовки деталі заздалегідь ділять на дещо простіші частини. Окремі частини виготовляються з листового, стрічкового, сортового або профільного матеріалу шляхом різання, згинання, штампування, потім з'єднують зварюванням, утворюючи заготовки деталей.

Основною перевагою деталей, виготовлених із таких заготовок, є якнайповніше використання властивостей матеріалів, унаслідок чого досягається зменшення маси деталей і відходів, і незначний цикл виготовлення деталей порівняно з литтям. Недоліком цього способу є потреба в термічній обробці (відпалюванні) заготовок для зниження залишкового напруження, що виникає при зварюванні з метою зменшення деформації деталей.

### **8.2.2. Заготовки для валів**

Використання як заготовки круглого прокату економічно лише для виготовлення гладких і ступінчастих валів з невеликою різницею в діаметрах шийок, оскільки інакше виходять значні відходи металу в стружку і витрати на обробку різанням. Заготовки для багатоступінчастих і колінчастих валів, що виготовляються одинично, отримують за допомогою вільного кування, кувальними молотами і пресами.

Більше наближення заготовок до вимог, що ставляться до готових деталей, досягається шляхом їх штампування у відкритих і закритих штампах. Штампи робляться однорівчачковими і багаторівчачковими.

Відносно висока вартість виготовлення штампів, особливо багаторівчачкових, робить економічним використання

штампування на штампувальних молотах при великосерійному і масовому виробництві валів та інших подібних деталей.

Для виготовлення в значних кількостях ряду валів невеликих габаритних розмірів застосовують більш економічний спосіб отримання заготовок на горизонтально-кувальних машинах. Як початковий напівфабрикат для отримання заготовок зазвичай використовуються круглі прутки, отримані прокатуванням.

На значну увагу й поширення заслуговує використання поперечно-гвинтового прокатування для отримання заготовок багатоступінчастих валів, півосей автомобілів та інших подібних деталей.

Литі заготовки застосовуються для отримання валів прокатних станів, шпинделів і пінолей ряду важких верстатів і т. д.

Для отримання якісніших виливків порожнистих валів використовується відцентровий спосіб литва, при якому заготовка отримує необхідну форму шляхом використання відцентрової сили розплавленого металу, що створюється обертанням виливниці навколо її осі. При цьому внутрішня поверхня самої відливки завжди виходить циліндричною або у вигляді параболоїда обертання (при вертикальній осі обертання виливниці).

При виборі методу отримання заготовки вала потрібно зважати на те, що заготовка, отримана шляхом пластичного деформування з «опрацюванням» макроструктури має кращі показники міцності ніж та, що не має оптимальної текстури і, тим паче, якщо порівнювати з виливками. Ще більше значення пластичне деформування має при підготовці заготовок з легованих сталей і сплавів.

### **8.2.3. Заготовки зубчастих коліс**

При виготовленні зубчастих коліс невеликого діаметра (до 60-80 мм) невеликою різницею діаметрів зубчастого

вінця і маточини можна знехтувати і використовувати прутковий матеріал (круг), а зубці отримують механічною обробкою. Потрібно зауважити, що такий метод не повинен використовуватися для відповідальних зубчастих коліс.

Виготовлення зубчастих коліс діаметром більше 80 мм з прутка стає неекономічним через збільшення відходів металу і собівартість виготовлення. Для отримання штучних заготовок діаметром понад 80 мм залежно від розмірів, матеріалу, конструктивних форм і потрібної кількості можуть використовуватися вільне кування, штампування в підкладних, відкритих і закритих штампах, на кувальних молотах і пресах, штампувальних молотах і кривошипних пресах, на горизонтально-кувальних машинах.

Зі збільшенням кількості зубчастих коліс, що підлягають виготовленню, стає економічним використання штампування у відкритих штампах, здійснюваного на штампувальних молотах і пресах або на продуктивніших кривошипних пресах.

Штамповані заготовки, що отримуються на штампувальних молотах, відрізняються меншими припусками на обробку і коливанням їх величин порівняно з отримуваними вільним куванням і в підкладних штампах.

Зі збільшенням розмірів зубчастих коліс, що виготовляються одним або в невеликих кількостях, можна використати вільне кування.

У будь-якому разі, під час виготовлення заготовки зубчастого колеса для відповідальних конструкцій потрібно застосовувати метод формоутворення зубців шляхом пластичного деформування (накатування), що дає значне збільшення механічних показників.



#### **8.2.4. Заготовки деталей типу важелів, шатунів, вилок, профільних стержнів тощо**

При отриманні литих чавунних заготовок для перелічених деталей залежно від їх кількості і розмірів використовується піщане формування, в опоках, ручне і машинне.

Заготовки ряду деталей, особливо складних конструктивних форм і невеликих габаритних розмірів, економічно отримувати за допомогою литва за моделями, що виплавляються. Заготовки дрібних важелів, собачок, балочок, лопаток роторів газових турбін і ряду інших деталей відливаються цим способом навіть при виготовленні невеликих кількостей заготовок.

Сталеві заготовки зазначених типів деталей отримують вільним куванням під час виготовлення одиничних заготовок або декількох їх штук. Зі збільшенням кількості заготовок, що підлягають виготовленню за незмінним кресленням, стає економічним використання підкладених штампів для формоутворення заготовки в цілому, або окремих, складніших її частин (наприклад, кінців важеля).

При великих кількостях заготовок, особливо в масовому виробництві, економічно використати штампування у відкритих і тим паче в закритих штампах.

Для отримання заготовок, що максимально наближаються до вимог готових деталей, використовуються калібрування і карбування штампованих заготовок. Практично при багатократному карбуванні досягається точність розмірів за висотою заготовки до  $\pm 25$  мкм.

#### **8.2.5. Заготовки дрібних і кріпильних деталей**

Дрібні та кріпильні деталі становлять велику номенклатуру найрізноманітніших деталей. Прикладами можуть служити різного роду косинки, трійники, штуцери, різьбові втулки, болти, гайки, гвинти, шпильки, шурупи, шпонки. Дрібні деталі виготовляються з різних металів, сплавів, пластмас та інших матеріалів.

Групування дрібних деталей за службовим призначенням, розмірами, подібністю конструктивних форм і технічними вимогами до цих деталей створює передумови для їх групового виготовлення. У таких випадках стає економічним використання як заготовки профільного матеріалу. За відсутності спеціального профільного прокату матеріали спеціального профілю економічно отримувати за допомогою порівняно простих приладь. Такі приладдя закріплюються на протяжних або волочильних станах. Нагрітий пруток матеріалу стандартного профілю шляхом протягування між роликками приладдя перетворюється на пруток спеціального профілю.

Одним з найбільш економічних технологічних процесів отримання заготовок кріпильних та інших видів дрібних деталей, що випускаються у великих кількостях, є їх холодна висадка на спеціальних холодно-висадних автоматах.

### **8.3. Приклад виконання завдання курсової роботи «Складання технологічного процесу отримання та обробки заготовки»**

#### **8.3.1. Вимоги до виконання**

1. Відповідно до варіанта (табл. А2, додаток Б) для трьох різних матеріалів згідно з завданням:

1.1. Розшифрувати марку матеріалу.

1.2. Розробити спрощений технологічний процес отримання деталі згідно з вимогами варіанта:

1.2.1. Стисло описати деталь згідно з кресленням.

1.2.2. Обґрунтувати технологію отримання та обробки заготовки, зважаючи на вимоги завдання:

- описати характерні особливості деталі згідно з кресленням;

- визначитися з етапами технології отримання заготовки, деталі, виходячи з **вимоги найвищої якості, зважаючи**

**на матеріал, тип виробництва, економічну доцільність.**

1.2.3. Скласти узагальнений технологічний процес і подати його у вигляді таблиці із зазначенням:

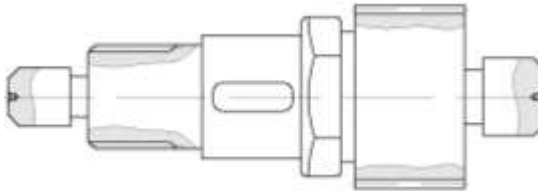
- а) етапів технології;
- б) операцій, з яких складається етап;
- в) переходів, з яких складається операція;
- г) типу обладнання що використовується, матеріалів;
- д) ескізу операції переходу.

Обов'язкові вимоги:

- кількість етапів технологічного процесу – не менше 8;
- загальна кількість переходів – не менше 70;
- зазначаються лише основне обладнання та матеріали що використовуються;
- для кожного переходу наводиться ескіз операції з позначенням основних елементів на схемі. Можливе використання схем основного з обладнань, задіяного в переході.

### **8.3.2. Приклад розв'язання завдання «Складання технологічного процесу отримання та обробки заготовки»**

*Вхідні дані:*



Вал шліцьовий, сталь 40ХН. Тип виробництва – одичне.

Вал – одна з найголовніших деталей машин і механізмів, що обертається навколо своєї осі, призначена для передачі руху зв'язаним з нею частинам. Для передавання обертового моменту вал має шліці, що входять у зачеплення з деталлю, яка знаходиться на валу (наприклад, зубчасте колесо). Шліцьове з'єднання забезпечує можливість

осьового зміщення суміжної деталі за безперервності передачі обертового моменту та краще, порівняно зі шпонковим з'єднанням, напрямлення деталей при переміщенні їх уздовж вала.

Сталь 40ХН є середньовуглецевою низьколегованою конструкційною поліпшуваною сталлю зі вмістом 0,4 % С, близько 1 % Cr, 1% Mn (решта – залізо та домішки).

Сталь отримуємо за двоступінчастою схемою. Для отримання переробного чавуну використовуємо доменну піч. Зважаючи на те, що сталь є низьковуглецевою, а також на сучасні тенденції щодо виключення енергозатратного мартенівського способу, обираємо дуплекс-процес отримання сталі 40ХН.

Для розливання сталі використовуємо спосіб безперервного лиття, де кількість «годного» наближається до 98 %.

Для досягнення найвищої якості заготовки використовуємо спосіб обробки металу тиском – поздовжнє прокатування.

Зважаючи на одиничний тип виробництва при обробці заготовки обираємо вільне кування сортового прокату «круг» для формування сприятливого перерозподілу металу та наближення форми кованої заготовки до форми деталі з метою зменшення відходів.

Механічна обробка обрана з урахуванням одиничного типу виробництва. Застосовуємо точіння «в цетрах»: чорнову та чистову.

Для нарізання шліців використовуємо «метод копіювання»: нарізання фасонною дисковою фрезою з використанням ділильної головки. Шліцешліфування проводять для виправлення геометрії шліців.

Для отримання граней та шпонкового паза під призматичну шпонку використовуємо торцеву фрезу.

Складаємо узагальнений технологічний процес отримання заготовки для виготовлення шліцьового валу зі сталі 40 ХН при одиничному типі виробництва - таблиця А.1.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дунаев П. Ф. Детали машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Лёликов – М. : Машиностроение, 2004. – 560 с.
2. Болтон У. Конструкционные материалы, металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты. Карманный справочник / пер. с англ. / У. Болтон. – М. : Изд. дом Додэка XXI, 2004. – 320 с.
3. Линчевский В. Б. Металлургия черных металлов: учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. / В. Б. Линчевский, А. Л. Соболевский, А. А. Кальменев. – М. : Metallurgia, 1986. – 360 с.
4. Уткин Н. И. Металлургия цветных металлов: учебник для техникумов / Н. И. Уткин. – М. : Metallurgia, 1985. – 440 с.
5. Палей М. М. Технология производства режущего инструмента: учебное пособие / М. М. Палей. – М. : Mashgiz, 1963. – 483 с.
6. Бушуев М. Н. Технология производства турбин / М. Н. Бушуев. – М. : Машиностроение, 1966. – 410 с.
7. Либенсон Г. А. Производство порошковых изделий. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г. А. Либенсон. – М. : Metallurgia, 1990. – 240 с.
8. Карабасов Ю. С. Новые материалы / под ред. Ю. С. Карабасова. – М. : МИСИС, 2002. – 736 с.
9. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина: – в 2 книгах. Перевод с англ.; под ред. Б. Э. Геллера. – М. : Машиностроение. – 1988.
10. Сологуб М. А. Технологія конструкційних матеріалів / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін. – К. : Вища школа, 2002. – 374 с.
11. Дальский А. М. и др. Технология конструкционных материалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 664 с.

12. Прейс Г. А. и др. Технология конструкционных материалов. – К. : Высшая школа, 1984. –358 с.

13. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів / М.А.Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін. / за ред. М. А. Сологуб. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : Вища школа, 2002. – 374 с.

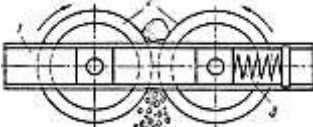
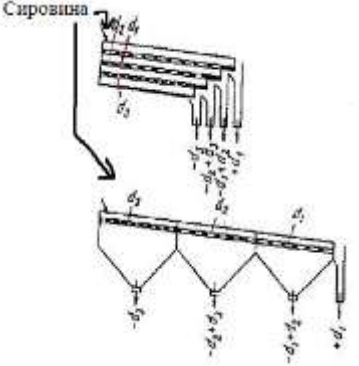
14. Хілчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: посібник /В. В.Хілчевський, С. Є. Кондратюк та ін. Київ : – Либідь, 2002. – 328 с.

15. Юскаев В.Б. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебное пособие. Ч. 1. Технология конструкционных материалов. Программа, методические указания, задания к контрольным работам и примеры их выполнения. – Сумы : СумГУ, 2001. – 145 с.

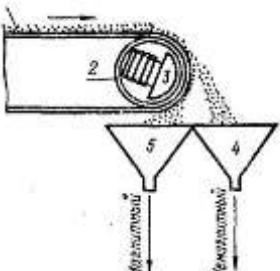
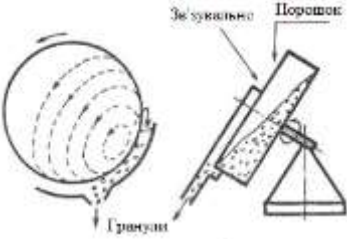
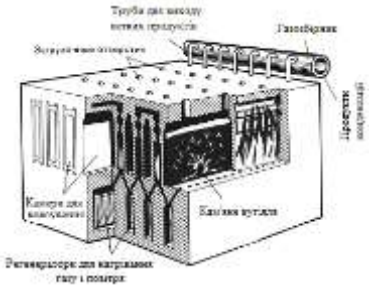
## ДОДАТОК А

### Приклад узагальненого технологічного процесу

Таблиця А.1 – Узагальнений технологічний процес отримання і обробки заготовки шліцьового вала

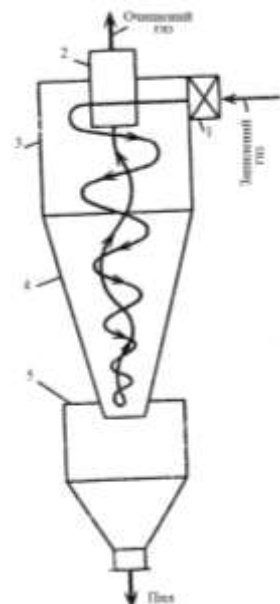
Етап технології	Номер операції, назва операції	Номер переходу	Тип обладнання, матеріали	Ескіз (схема) операції (переходу), обладнання
1	2	3	4	5
Отримання чавуну	1. Видобування руди, вугілля, газу		Шахти, кар'єри	
	2. Підготування руд до доменного плавлення	2.1. Подрібнення	Подрібнювачі конусні, валкові	 <p>Рисунок А.1 – Валковий подрібнювач: 1 – основна рама; 2 – подрібнювальні валки; 3 – амортизаційна пружина</p>
		2.2. Класифікування матеріалу	Класифікатори, сита (грохоти)	 <p>Рисунок А.2 – Вібраційний грохот</p>

Продовження додатка А

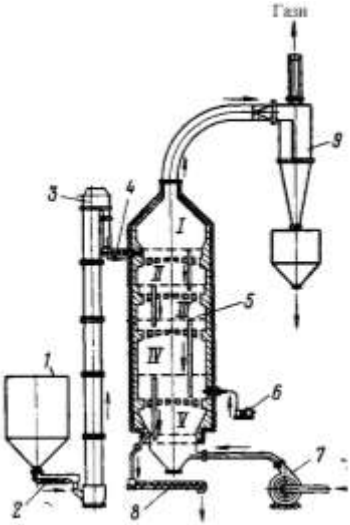
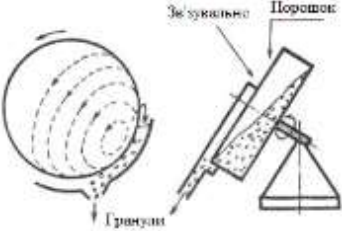
1	2	3	4	5
		2.3. Збагачення руди	Промисне обладнання, обладнання гравітаційного, магнітного, сепарційного і флотаційного збагачення	 <p>Рисунок А.3 – Магнітний збагачувач: 1 – конвеєр; 2 – привідний вал; 3 – електромагніт; 4, 5 - класифікатори</p>
		2.4. Згрудкування: агломерація, окатування	Агломераційні машини, гранулятори	 <p>Рисунок А.4 – Тарільчастий гранулятор</p>
3. Підготовка палива		3.1. Спінання вугілля на коксохімічних комбінатах у кокс	Коксова піч	 <p>Рисунок А.5 – Батарея коксових печей</p>



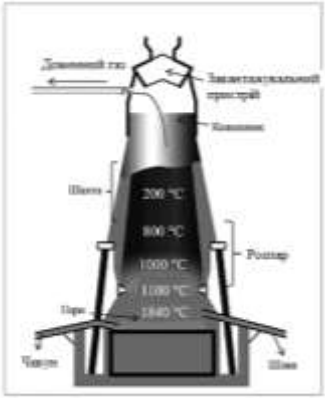
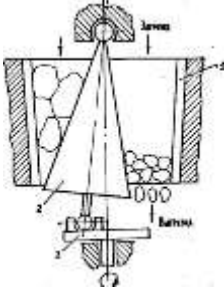
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
		<p>3.2. Очищення, підігрівання природного газу перед поданням до фурм</p>	<p>Фільтри, теплообмінники</p>	 <p>Рисунлк А.6 – Циклон для очищення газу: 1 – вхідний патрубков; 2 – вихлопна труба; 3 – циліндрична камера; 4 – конічна камера; 5 – пилоосаджувальна камера</p>

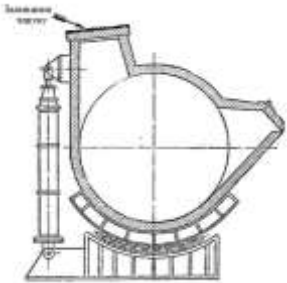
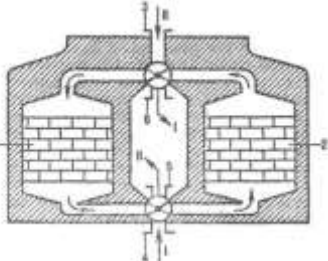
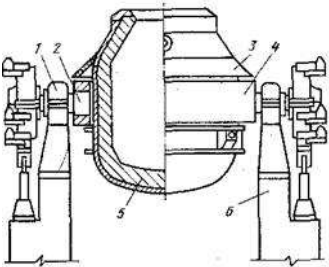
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
	<p>4. Підготування допоміжних матеріалів (флюсу)</p>	<p>4.1. Обпалювання флюсу - вапняку</p>	<p>Обпалювальна піч</p>	 <p>Рисунок А.7 – Піч для обпалення вапняку: 1 – бункер для подрібненого вапняку; 2 – шнек; 3 – елеватор; 4 – шнек; 5 – піч; 6 – мазутний насос; 7 – вентилятор дуття; 8 – шнек вивантаження; 9 – циклон; I - III – зони підготовки; IV – зона кальцинування; V – зона охолодження</p>
		<p>4.2. Офлюсовування агломерату (котунів)</p>	<p>Гранулятори</p>	 <p>Рисунок А.8 – Тарільчастий гранулятор</p>

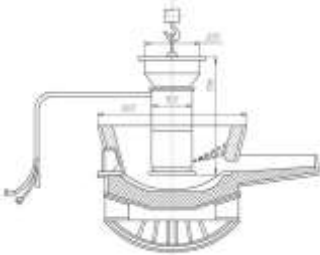
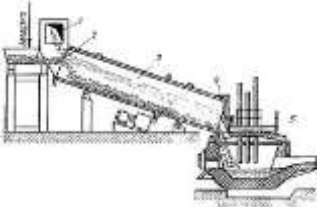
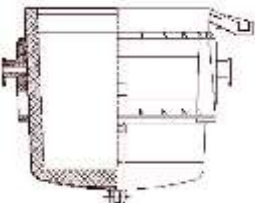
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
	5. Доменне плавлення	5.1. Відновлення заліза	Доменна піч	 <p data-bbox="649 694 929 726">Рисунок А.9 – Доменна піч</p>
		5.2. Навуглецювання заліза і утворення рідкого чавуну	Доменна піч	
		5.3. Відновлення домішок	Доменна піч	
		5.4. Утворення шлаку	Доменна піч	
Отримання сталі дуплекс-процесом	6. Переділ чавуну на сталь в конвертній печі	6.1. Підготування твердих шихтових матеріалів	Подрібнювачі, згрудкувачі	 <p data-bbox="616 1236 963 1292">Рисунок А.10 – Схема конусного подрібнювача</p>

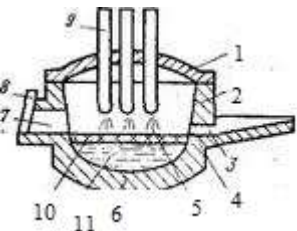
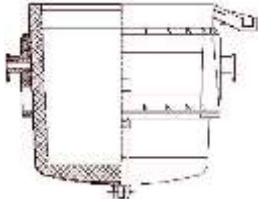
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
		6.2. Підготування рідкого чавуну	Міксери для проміжного зберігання рідкого чавуну, вирівнювання хімічного складу	 <p>Рисунок А.11 – Копильник (міксер) рідкого чавуну</p>
		6.3. Підготування палива (окиснювача)	Теплообмінники для підігрівання газоподібного палива	 <p>Рисунок А.12 – Регенеративний теплообмінник: I, II – теплоносії; 1, 2 – цегляна кладка камер; 3, 4 і 5, 6 – відповідно входні й вихідні патрубки</p>
		6.4. Завантаження твердих матеріалів до конвертерної печі	Завантажувальна машина, мультда, конвертерна піч	 <p>Рисунок А.13 – Конвертер: 1 – опорний підшипник; 2 – цапфа; 3 – кожух; 4 – опорне кільце; 5 – футерівка; 6 – опорна станина</p>

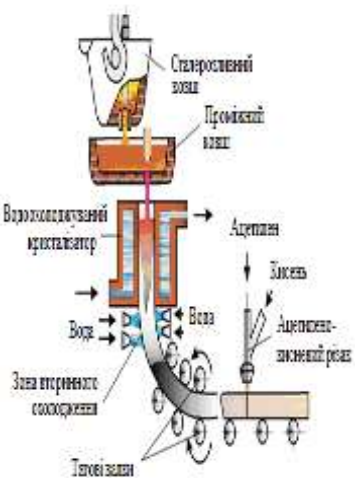
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
	<p>7. Доведення хімічного складу сталі до потрібного в електродуговій печі</p>	<p>7.1. Заправка (ремонт) футерівки електродугової печі</p>	<p>Заправна машина</p>	 <p>Рисунок А.14 – Схема роботи заправної машини</p>
<p>7.2. Завалка шихти - закладання твердих шихтових матеріалів, скрапу</p>		<p>Завантажувальна корзина</p>	 <p>Рисунок А.15 – Барабанна піч для підігрівання і завантаження шихти: 1 – димохід, 2 – завантажувальний бункер з віброконвеєром, 3 – обертова піч, 4 – камера вивантаження з додатковим пальником, 5 – дугова піч</p>	
<p>7.3. Заливання рідкої сталі</p>		<p>Сталерозливний ківш</p>	 <p>Рисунок А.16 – Ківш сталерозливний</p>	

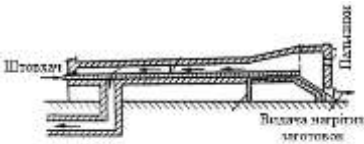

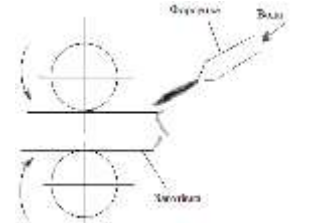
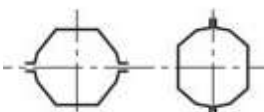
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
		7.4. Опускання електродів, плавлення	Графітові електроди	 <p>Рисунок А.17 – Електродугова піч: 1 – склепіння; 2 – стіни; 3 – жолоб; 4 – сталевипускний отвір; 5 – електрична дуга; 6 – подина; 7 – робоче вікно; 8 – заслінка; 9 – електроди; 10 – шлак; 11 – метал</p>
		7.5. Окиснювальний період	Завантажувальна корзина, окалина, агломерат, шлакоутворювальні речовини	
		7.6. Відновлювальний період	Завантажувальна корзина, розкиснювачі, шлакоутворювальні речовини	
		7.7. Легування сталі	Завантажувальна корзина, легувальні елементи (феросплави)	
		7.8. Зливання (випускання) рідкої сталі	Сталерозливний ківш	 <p>Рисунок А.18 – Ківш сталерозливний</p>

## Продовження додатка А

1	2	3	4	5	
Розливання сталі	8. Безпервне розливання сталі	8.1. Зливання сталі у проміжні розливні ємності	Проміжний ківш	 <p data-bbox="610 805 980 869">Рисунок А.19 – Схема безпервного розливання сталі</p>	
		8.2. Первинне поверхневе охолодження зливка	Виливниця без дна – водоохолоджуваний кристалізатор		
		8.3. Вторинне остаточне охолодження з обтирканням зливка	Обтирні валки, фонтанки з водою		
		8.4. Витягування	Витягувальні валки		
		8.5. Розрізання зливку на мірні заготовки	Ацетиленовий різак		
		8.6. Охолодження та зачищення заготовки	8.6. Охолодження та зачищення заготовки		

Продовження додатка А

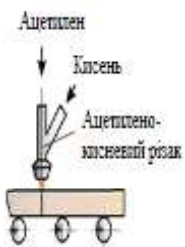
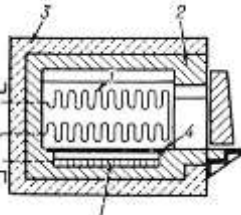
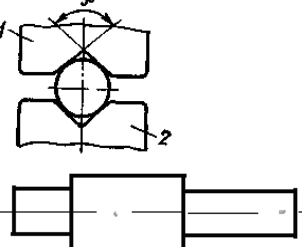

1	2	3	4	5
Обробка металу тиском	9. Прокаткування	9.1. Нагрівання	Методичні печі	 <p>Рисунок А.20 – Методична піч і схема розподілу температур</p>
		9.2. Обтискання	Стан сортового прокатування з обтискними калібрами	 <p>Рисунок А.21 – Схема обтискних калібрів сортового стану для отримання круга</p>
		9.3. Збивання окалини	Форсунки з водою під тиском	 <p>Рисунок А.22 – Схема збивання окалини струменем води</p>
		9.4. Проміжне нагрівання	Методичні печі	
		9.5. Чорнове калібрування	Стан сортового прокатування із чорновими калібрами	 <p>Рисунок А.23 – Схема чорнових калібрів сортового стану для отримання круга</p>



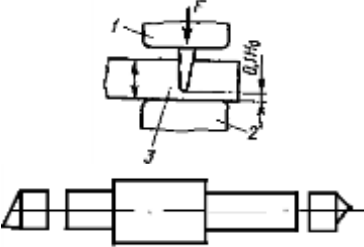
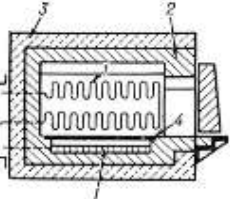
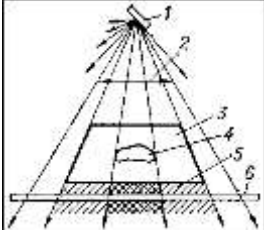
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
		9.6. Збивання окалини	Форсунки з водою під тиском	<p>Рисунок А.24 – Схема збивання окалини струменем води</p>
		9.7.Проміжне нагрівання	Методичні печі	<p>Рисунок А.25 – Методична піч</p>
		9.8.Чистове калібрування	Стан сортового прокатування з чистовими калібрами	<p>Рисунок А.26 – Схема чистового калібру сортового стану для отримання круга</p>
		9.9. Розрізання на мірні заготовки	Ацетилен-кисневий різак	<p>Рисунок А.27 – Схема розрізання ацетилен-кисневим різак</p>

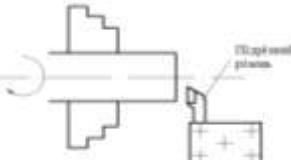
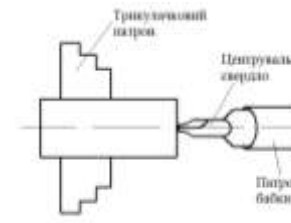
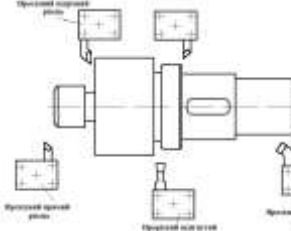
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
	10. Вільне кування	10.1. Вирізання заготовки потрібної довжини зі стандартного сортаменту «круг»	Ацетилен-кисневий різак	 <p>Рисунок А.28 – Схема розрізання ацетилен-кисневим різаком</p>
	10.2. Нагрівання заготовки	10.2. Нагрівання заготовки	Камерна піч	 <p>Рисунок А.29 – Схема камерної печі: 1 – нагрівальні елементи; 2 – вогнетрив; 3 – теплоізоляція; 4 – жаротривка подова плита</p>
	10.3. Протягування заготовки на круг згідно з кресленням	10.3. Протягування заготовки на круг згідно з кресленням	Молот пароповітряний, фігурні бойки	
	10.4. Протягування кінцевих уступів	10.4. Протягування кінцевих уступів	Молот пароповітряний, фігурні бойки	 <p>Рисунок А.30 – Схема протягування у фігурних бойках і ескіз заготовки: 1 – верхній рухомий боек; 2 – нижній нерухомий боек</p>

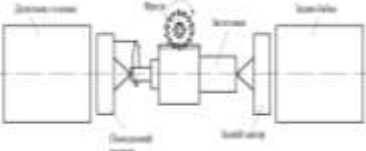
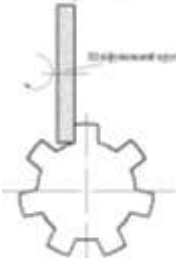
Продовження додатка А

1	2	3	4	5
		10.5. Обробування поковки «в розмір»	Молот пароповітряний, підкладний інструмент сокира	 <p>Рисунок А.31 – Схема рубання та ескіз заготовки: 1 – сокира, 2 – нижній боек, 3 – заготовка</p>
	11. Термічна обробка	11.1. Відпалювання	Камерна піч	 <p>Рисунок А.32 – Схема камерної печі: 1 – нагрівальні елементи; 2 – вогнетривка частина кладки; 3 – теплоізоляція; 4 – жаротривка подова плита</p>
	12. Контроль якості	12.1.Контроль якості	Твердоміри, дефектоскопи, вимірний інструмент	 <p>Рисунок А.33 – Схема рентгеновського просвічування: 1 – джерело рентгеновського випромінювання; 2 – пучок рентгеновських променів; 3 – деталь; 4 – внутрішній дефект у деталі; 5 – рентгеновське зображення за деталлю; 6 – регістратор рентгеновського зображення</p>

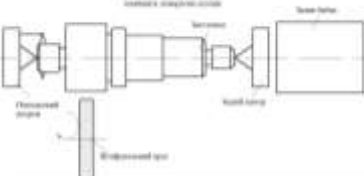
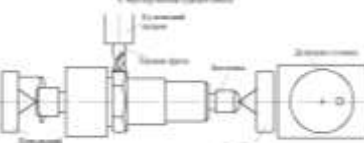
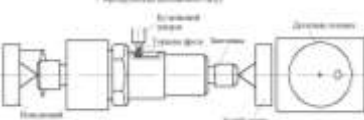
## Продовження додатка А

1	2	3	4	5
Механічна обробка	Вхідний контроль якості	Магнітопорошкова дефектоскопія	Магнітопорошковий дефектоскоп	
	Торцева-токарна	Торцювати заготовку вала з двох боків	Токарно-гвинторізнний верстат, трикулачковий патрон, різець торцевий	 <p>Рисунок А.34 – Схема торцевої токарної обробки</p>
	Токарно-свердлувальна	Свердлити центральні отвори	Токарно-гвинторізнний верстат, трикулачковий патрон, трикулачковий патрон задньої бабки, центрувальне свердло	 <p>Рисунок А.35 – Схема свердлування центрального отвору</p>
	Токарна	Чорнове точіння контуру заготовки у трикулачковому патроні і задньому центрі	Токарно-гвинторізнний верстат, повождковий патрон, задній центр, набір різців	 <p>Рисунок А.36 – Схема токарної обробки валу</p>

Продовження додатка А

1	2	3	4	5
		<p>Чистове точіння контуру заготовки у трикутчасточковому патроні і задньому центрі</p>	<p>Токарно-гвинторізний верстат, трикутчасточковий патрон, задній центр, набір різців</p>	
	<p>Шліцефрезерувальна</p>	<p>Фрезерування шліців на горизонтальнофрезерному верстаті фасонною шліцьовою фрезою у ділильній головці</p>	<p>Горизонтальнофрезерувальний верстат, ділильна головка, задній центр, фасонна шліцьова фреза</p>	 <p>Рисунок А.37 – Схема фрезерування шліців</p>
	<p>Шліцешліфувальна</p>	<p>Шліфування бокових поверхонь шліців на шліцешліфуальному верстаті</p>	<p>Шліцешліфувальний верстат, абразивний круг, ділильна головка</p>	 <p>Рисунок А.38 – Схема шліфування бічних поверхонь шліців</p>

Продовження додатка А

1	2	3	4	5
	Круглошліфувальна	Шліфування циліндричної поверхні на круглошліфувальному верстаті	Круглошліфувальний верстат, абразивний круг	 <p>Рисунок А.39 – Схема круглого шліфування</p>
	Фрезерувальна	Фрезерування граней гайки		 <p>Рисунок А.40 – Схема торцевого фрезерування</p>
	Шпонкофрезерувальна	Фрезерування шпонкового паза		 <p>Рисунок А.41 – Схема фрезерування шпонкового паза</p>
	Контроль розмірів і якості	Перевірка твердості і розмірів	Твердомір, комплект інденторів, предметних столиків, вимірних інструментів	

Таблиця А.2 – Завдання на курсову роботу

Варіант	Номер завдання	Номер рисунка (див. додаток Б)	Матеріал	Серійність виробництва	Габаритні розміри, мм
1	1	Б.1	Сталь 12ХС	одиничне	500x1000
	2		Сталь 20Л	серійне	300x200
	3		Склопластик	одиничне	300x200
2	1	Б.2	40Х	серійне	50x100
	2		СЧ20	одиничне	50x1000
	3		Поліуретан (покриття)	одиничне	50x100
3	1	Б.3	12Х18Н10Т	одиничне	50x100
	2		12Х18Н10ТЛ	серійне	50x100
	3		ВК6	одиничне	25x10
4	1	Б.4	30ХН3А	серійне	300x500
	2		КЧ60-3	одиничне	300x500
	3		Капрон	серійне	50x70
5	1	Б.5	У12	одиничне	70x10
	2		3Х13Л	серійне	70x10
	3		ВК7	одиничне	70x10
6	1	Б.6	30ХГТ	серійне	70x30
	2		ЛЦ16К4	одиничне	700x50
	3		Фторопласт	серійне	70x30
7	1	Б.7	50ХФА	одиничне	70x30
	2		50Л	серійне	70x30
	3		Ебоніт	одиничне	70x30
8	1	Б.8	Сталь 20	серійне	200x20
	2		БрО10	одиничне	500x50
	3		Фторкаучук (покриття)	серійне	200x20
9	1	Б.9	20Х	одиничне	70x30
	2		ВЧ40	серійне	70x30
	3		Ебоніт	одиничне	70x30
10	1	Б.10	Р5М5К5	серійне	70x30
	2		Х12Л	одиничне	70x30
	3		ТТК	серійне	70x30

Продовження табл. А.2

Вариант	Номер завдання	Номер рисунку (див. додаток Б)	Матеріал	Серійність виробництва	Габаритні розміри, мм
11	1	Б.11	30X13	одиничне	70x30
	2		10X18Н9ТЛ	серійне	200x30
	3		Текстоліт	одиничне	200x30
12	1	Б.12	У8	серійне	200x30
	2		сталь ХВГЛ	одиничне	200x30
	3		Поліуретан	серійне	200x30
13	1	Б.13	Ст3пс	одиничне	70x30
	2		20Л	серійне	70x30
	3		Капрон	одиничне	30x70
14	1	Б.14	9ХС	серійне	200x50
	2		Поліуретан	одиничне	200x50
	3		ВК6-М	серійне	20x10
15	1	Б.15	40Х	одиничне	30x50
	2		ВЧ65	серійне	30x50
	3		Тектоліт	одиничне	300x500
16	1	Б.16	Сталь 45	серійне	30x50
	2		АЛ3	одиничне	30x50
	3		Поліпропилен	серійне	30x50
17	1	Б.17	Ст3кп	одиничне	1000x300
	2		Сталь15Л	серійне	1000x300
	3		Капрон	одиничне	100x30
18	1	Б.18	50ХФА	серійне	50x5
	2		50Л	одиничне	50x5
	3		САС2	серійне	50x5
19	1	Б.19	ШХ15	одиничне	500x250
	2		ШХ15	серійне	50x100
	3		Фторопласт Ф2	серійне	50x100
20	1	Б.20	АК7	серійне	50x20
	2		АЛ7	одиничне	500x100
	3		Склопластик	одиничне	500x100
21	1	Б.21	Р12	одиничне	50x100
	2		40СЛ	серійне	50x100
	3		Флубон	одиничне	50x100
22	1	Б.22	Сталь 45	серійне	50x100
	2		АЛ2	одиничне	50x100
	3		Полістирол	серійне	50x100

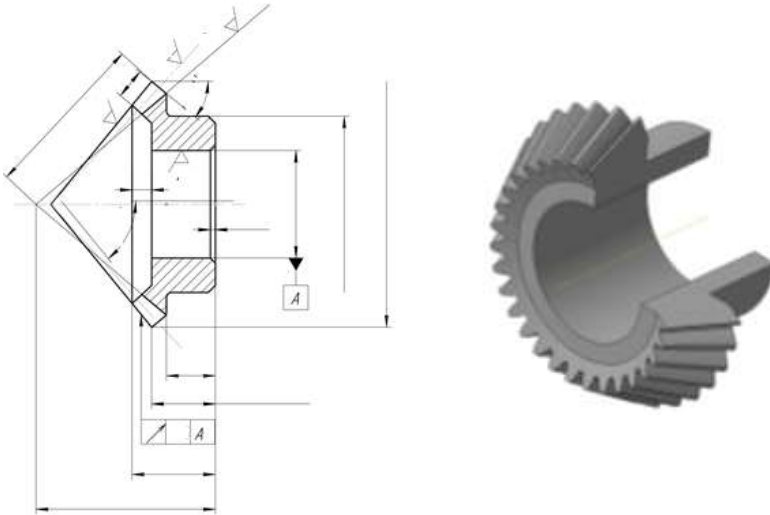


Продовження табл. А.2

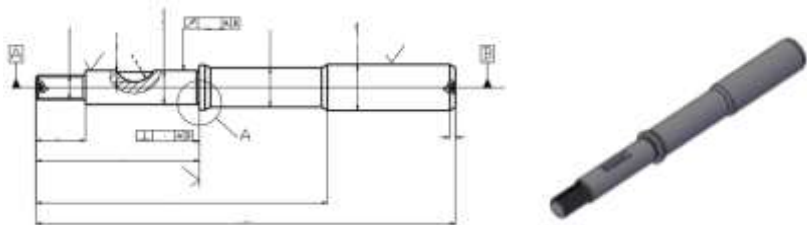
Вариант	Номер завдання	Номер рисунку (див. додаток Б)	Матеріал	Серійність виробництва	Габаритні розміри, мм
23	1	Б.23	Р6М5	одиничне	50x100
	2		80ГСЛ	серійне	50x100
	3		ТТ7К5	одиничне	50x100
24	1	Б.24	АК5	одиничне	500x100
	2		АЛ5	серійне	50x100
	3		Фторопласт Ф2	одиничне	50x100
25	1	Б.25	20Х	одиничне	50x200
	2		КЧ60-3	серійне	50x100
	3		Акрил	одиничне	50x100
26	1	Б.26	55С2А	серійне	50x100
	2		БрО10С12Н3	одиничне	50x100
	3		Флубон	серійне	50x100
27	1	Б.27	40ХС2	одиничне	500x1000
	2		ЛЦ40Мц1.5	серійне	50x100
	3		Флубон	одиничне	50x100
28	1	Б.28	У10	серійне	10x100
	2		Р6М5Л	одиничне	10x100
	3		САС3	серійне	10x100
29	1	Б.29	Р18	серійне	50x100
	2		90Х4М4Ф2В6 Л	одиничне	500x300
	3		ТТ7К5	серійне	10x20
30	1	Б.30	У12	одиничне	50x5
	2		80ГСЛ	серійне	500x20
	3		Гетинакс	одиничне	500x20

## ДОДАТОК Б

### Ескізи та 3Д моделі деталей

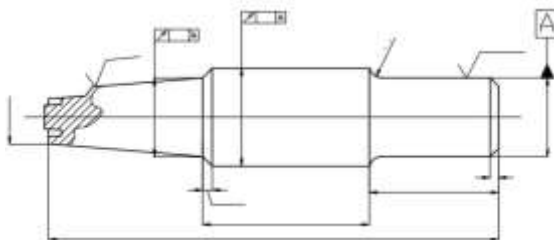


**Рисунок Б.1 – Ш естерня конічного редуктора**

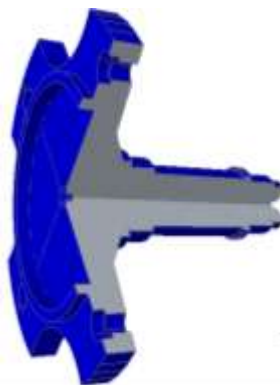
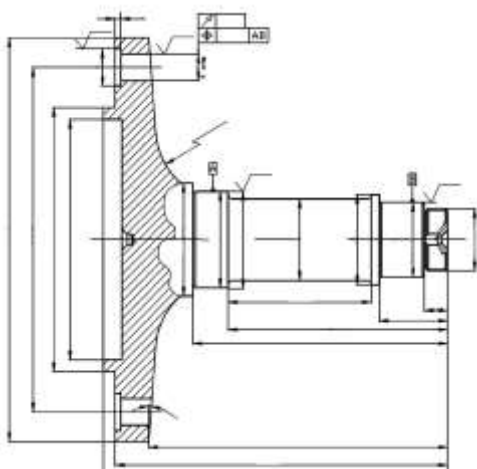


**Рисунок Б.2 – Вал редуктора**

Продовження додатка Б

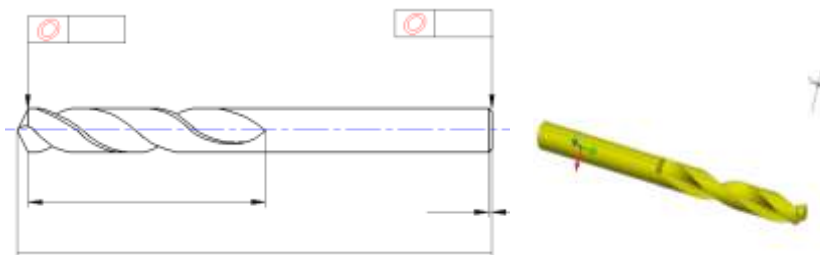


**Рисунок Б.3 – Стержень ливарний**

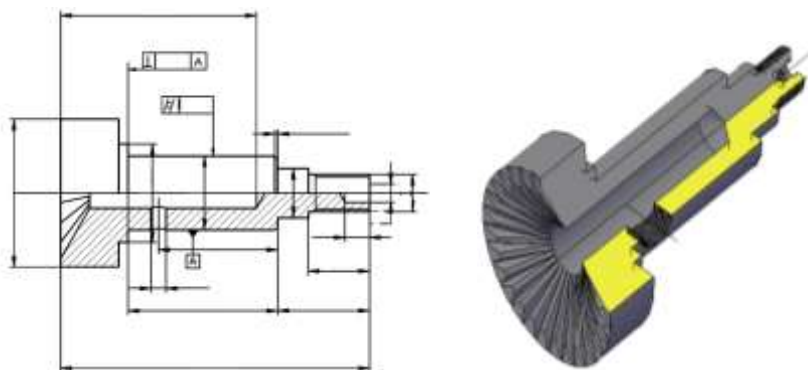


**Рисунок Б.4 – Водило планетарного редуктора**

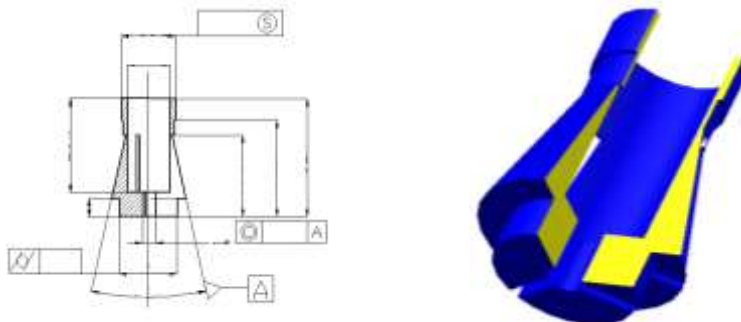
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.5 – Спіральне свердло**

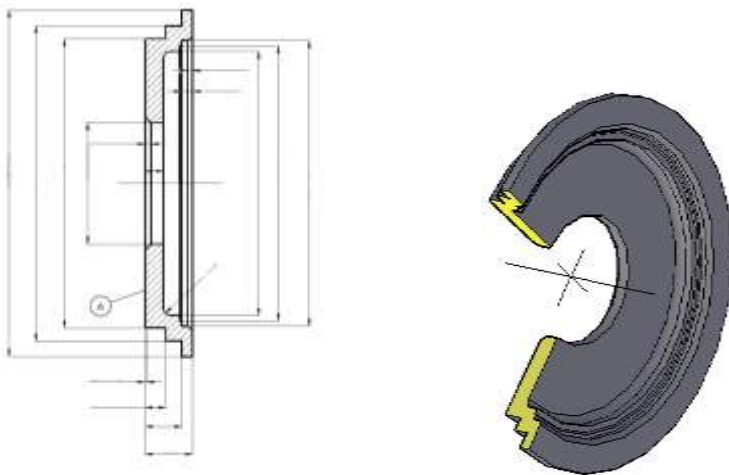


**Рисунок Б.6 – Гвинт спеціальний**

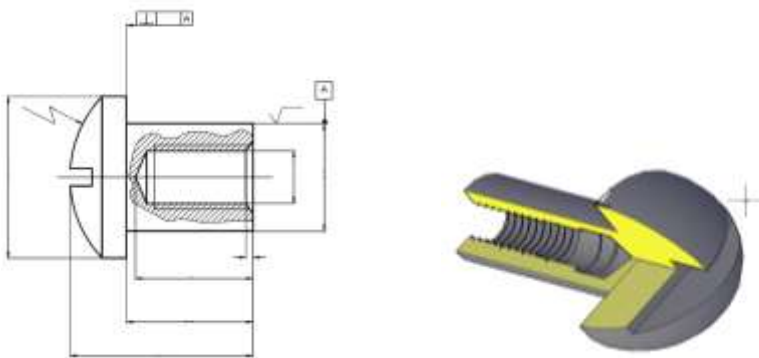


**Рисунок Б.7 – Цанга під фрезу**

Продовження додатка Б

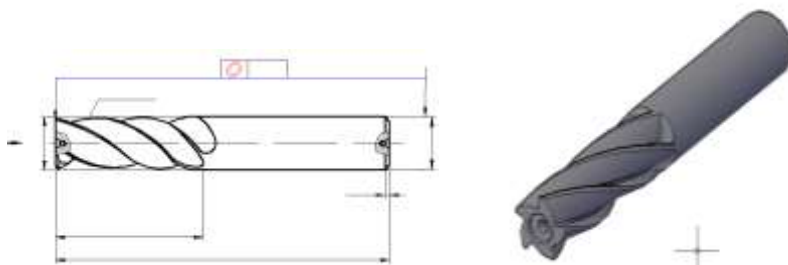


**Рисунок Б.8 – Диск насоса**

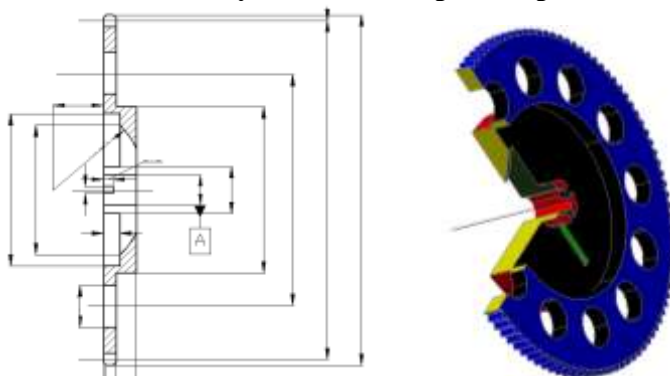


**Рисунок Б.9 – Гвинт внутрішнього важеля»**

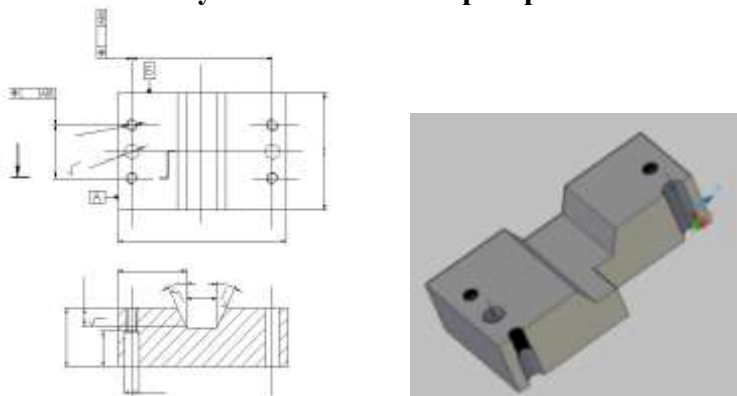
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.10 – Фреза торцева**

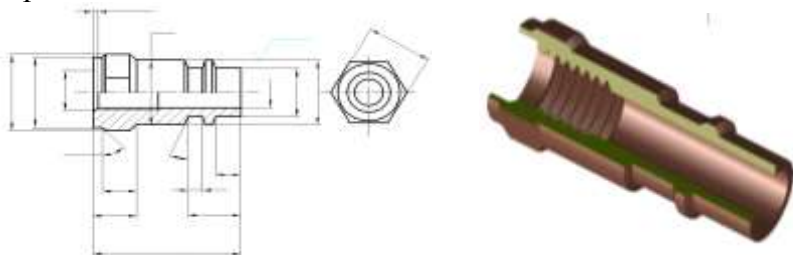


**Рисунок Б.11 – Шестерня рольганга**

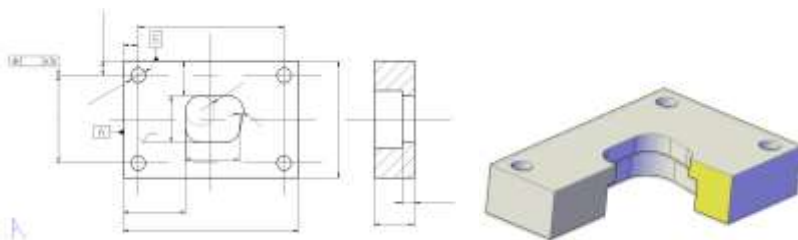


**Рисунок Б.12 – Штамп згинальний**

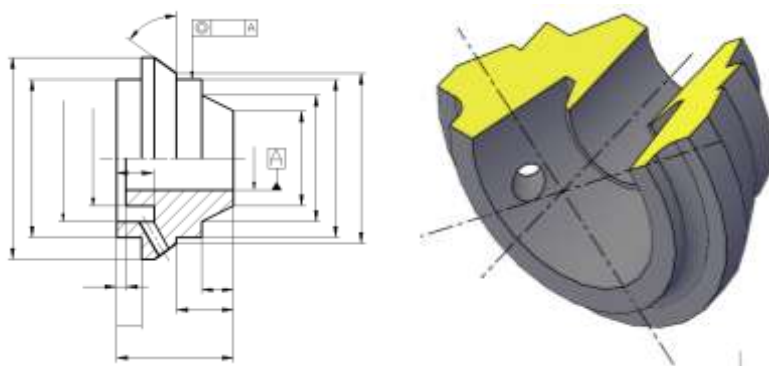
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.13 – Штуцер фарбопульта**

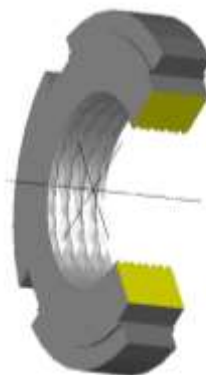
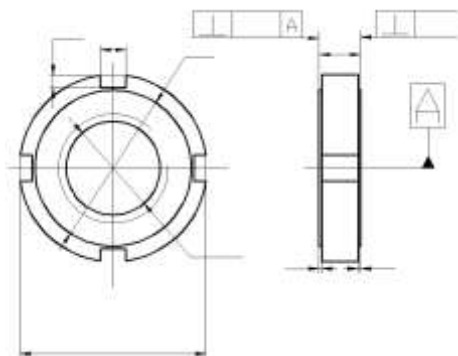


**Рисунок Б.14 – Матриця вирубна**

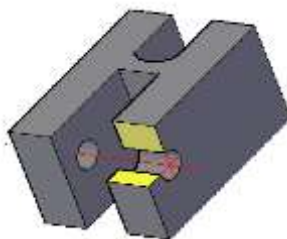
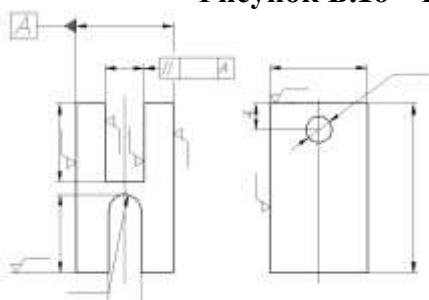


**Рисунок Б.15 – Втулка амортизатора**

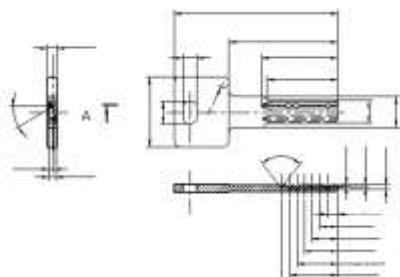
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.16 – Гайка кругла**



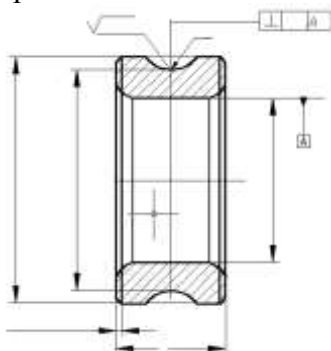
**Рисунок Б.17 – Оправка під підшипник**



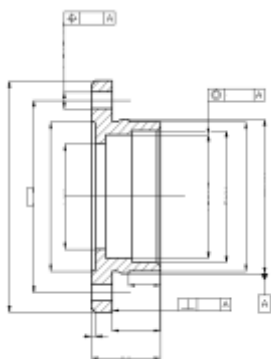
**Рисунок Б.18 – Ключ дверний**



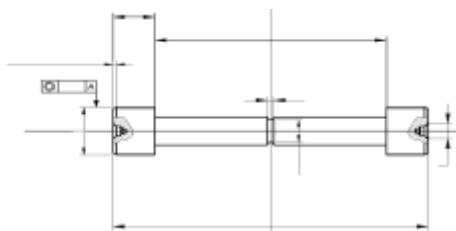
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.19 – Кільце підшипника**

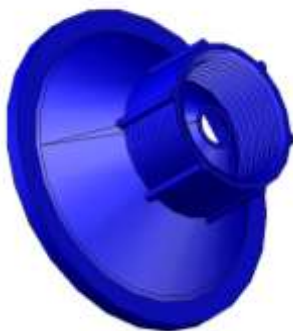
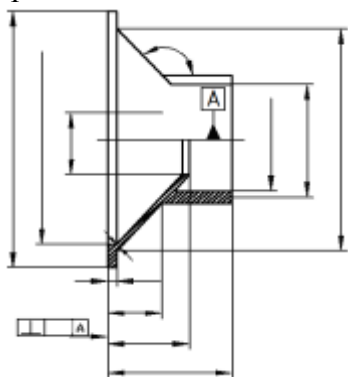


**Рисунок Б.20 – Кришка підшипника**

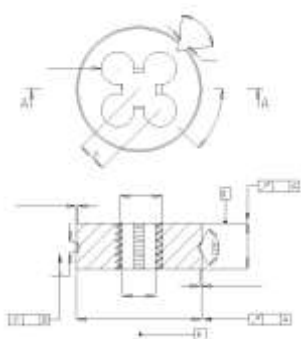


**Рисунок Б.21 – Зразок для випробовування**

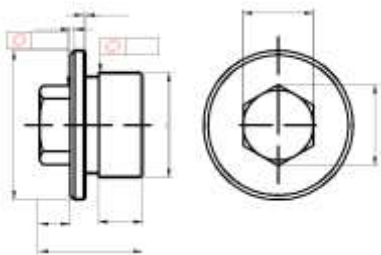
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.22 – Опора верстата**

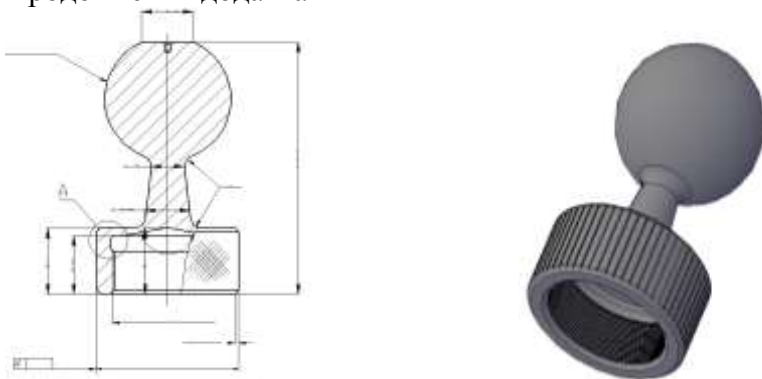


**Рисунок Б.23 – Інструмент – плашка**

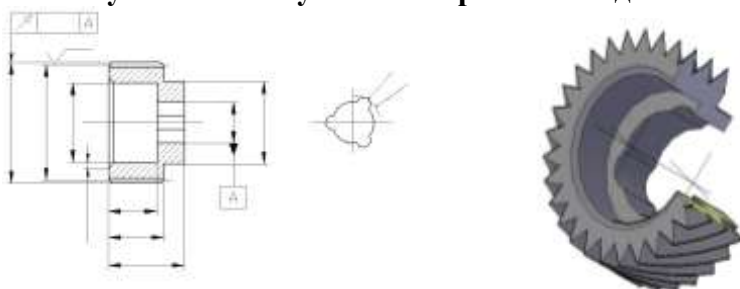


**Рисунок Б.24 – Заглушка корпусу диференціала**

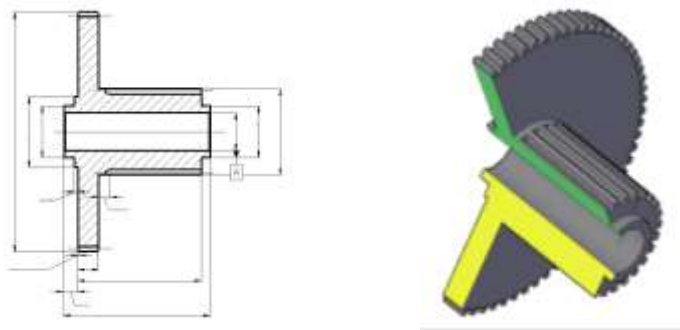
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.25 – Рукоятка коробки швидкостей**

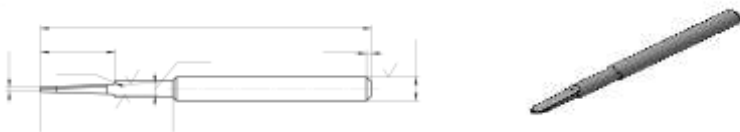


**Рисунок Б.26 – Шестерня з похилим зубом мультиплекатора**

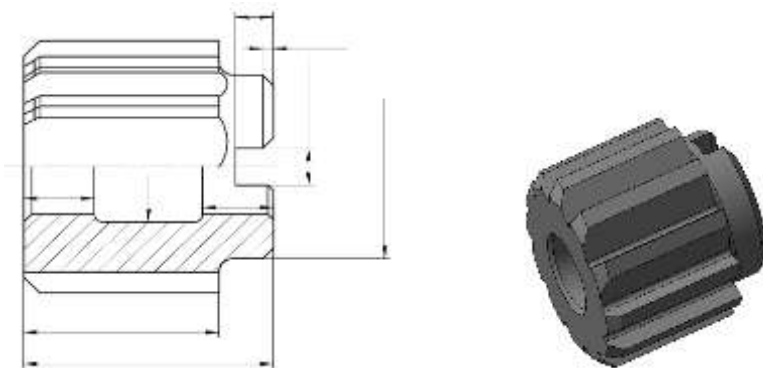


**Рисунок Б.27 – Блок шестерен редуктора**

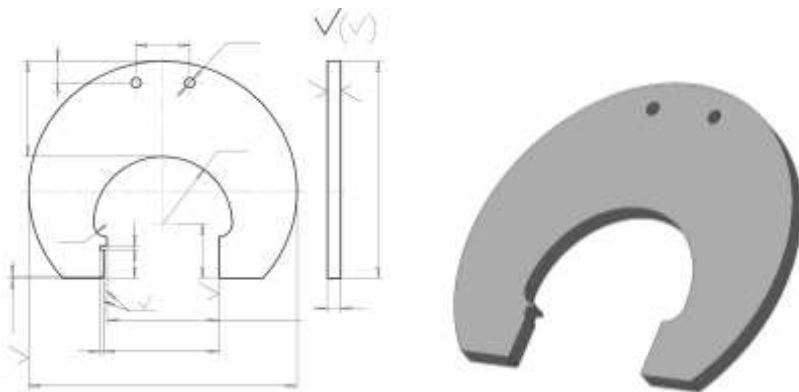
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.28 – Пірове свердло**

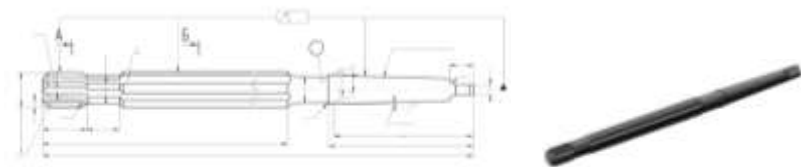


**Рисунок Б.29 – Головка розвертки**

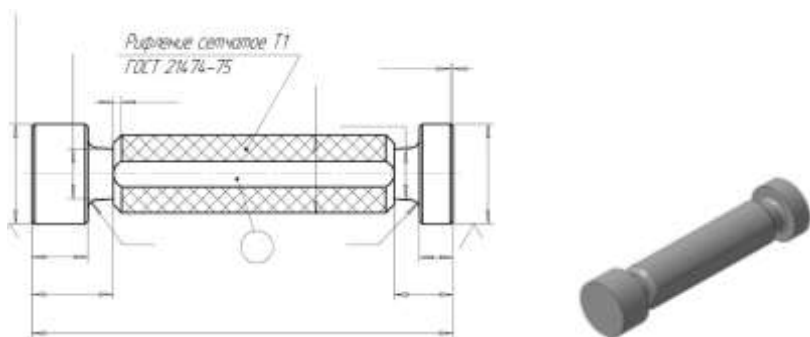


**Рисунок Б.30 – Інструмент – скоба**

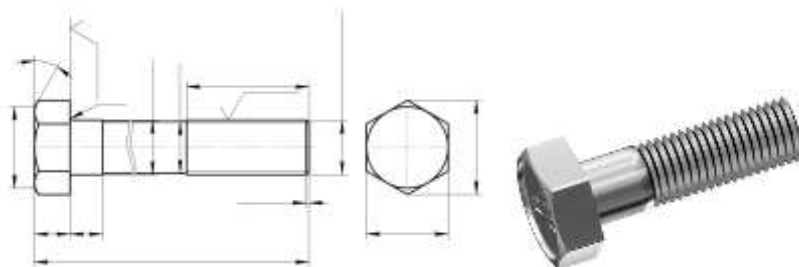
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.31 – Інструмент – розвертка**

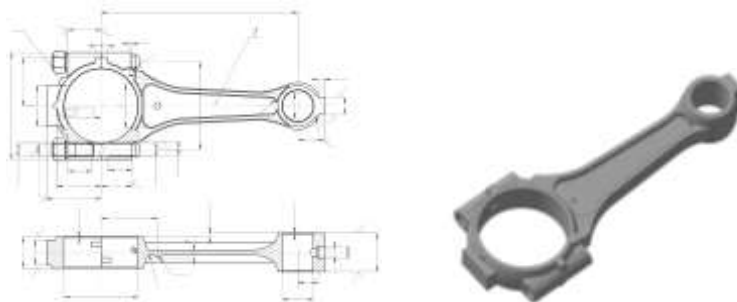


**Рисунок Б.32 – Інструмент – пробка**

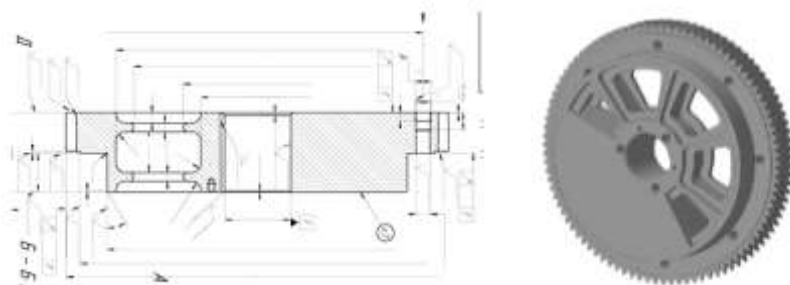


**Рисунок Б.33 – Болт кришки редуктора**

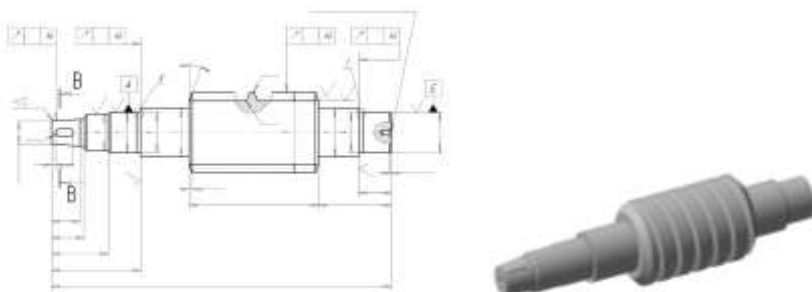
Продовження додатка Б



**Рисунок Б.34 – Шатун компресора**

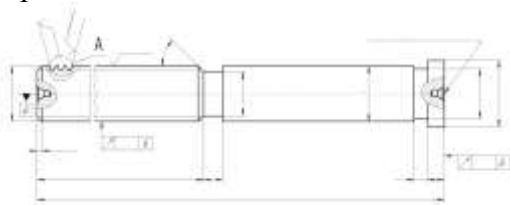


**Рисунок Б.35 – Зубчасте колесо лебідки**

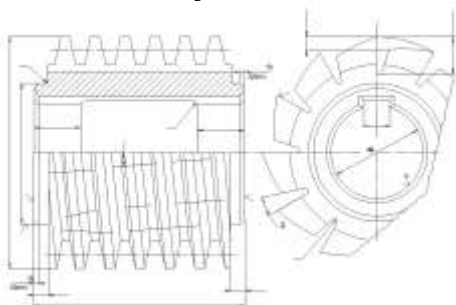


**Рисунок Б.36 – Черв'як редуктора**

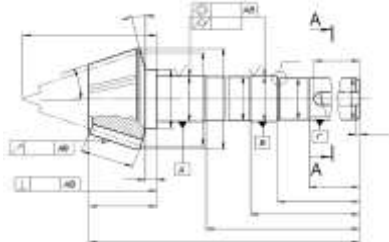
Продовження додатка Б



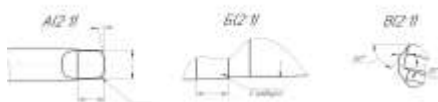
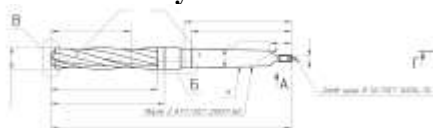
**Рисунок Б.37 – Ходовий гвинт ТГВ**



**Рисунок Б.38 – Фреза модульна**



**Рисунок Б.39 – Вал-шестерня конічна**



**Рисунок Б.40 - Зенкер**

Навчальне видання

**Марченко** Станіслав Вікторович,  
**Будник** Анатолій Федорович,  
**Юскаєв** Володимир Борисович

**ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА МАТЕРІАЛІВ  
ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ ОБ'ЄКТІВ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчальний посібник

Художнє оформлення обкладинки С. В. Марченка  
Редактор Н. А. Гавриленко  
Комп'ютерне верстання С. В. Марченка, В. Д. Вінницької

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 13,49. Обл.-вид. арк. 11,22. Тираж 300 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.