

**МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра „Матеріали і технології виготовлення виробів  
транспортного призначення”**

**Є.А.Фролов, Л.А. Тимофєєва,  
Г.Л. Комарова**

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Конспект лекцій з курсу  
«МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ТЕХНОЛОГІЯ МАТЕРІАЛІВ»**

**Харків – 2010**

Фролов Є.А., Тимофеева Л.А., Комарова Г.Л. Технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 45 с.

Предмет дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів - це закономірності (принципи) забезпечення необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей на залізничному транспорті.

Метою дисципліни є підготовка фахівців галузі металургії, ливарного виробництва, обробки металів тиском, зварювання, обробки різанням і використання отриманих знань в професійній діяльності.

Основними задачами є формування у студентів комплексу знань, умінь і уявлень, що необхідні при вирішенні практичних задач при визначенні технологій і виготовленні виробів для транспортних машин.

Після вивчення дисципліни студент повинен знати : суть процесів одержання металів і сплавів, особливості формоутворення заготовок різними способами, принципи отримання заготовок; структуру і фазові перетворення в сталях і сплавах; шляхи підвищення властивостей конструкційних матеріалів.

Студент повинен вміти: самостійно вибрати матеріал для конкретної деталі машин, виходячи з умов її роботи, вивчити технологію її виготовлення і призначити режим термічної обробки.

Призначено для студентів всіх форм навчання механічного і будівельного факультетів та відповідає робочій програмі з курсу “Матеріалознавство та технологія металів”.

Іл.16, табл. 1, бібліогр.: 5 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри МТВ 2 лютого 2009 року, протокол № 11.

Рецензент

проф. О.Б. Кондусова

Є.А.Фролов, Л.А. Тимофеева,  
Г.Л. Комарова

## ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Конспект лекцій з курсу  
«Матеріалознавство та технологія  
матеріалів»

Відповідальний за випуск Комарова Г.Л.

Редактор Решетилова В.В.

---

Підписано до друку 12.02.09 р.  
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.  
Умовн.-друк.арк. 2,25. Обл.-вид.арк. 2,5.  
Замовлення № Тираж 150 Ціна

---

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК 2874 від 12.06.2007 р.  
Друкарня УкрДАЗТу,  
61050, Харків - 50, майд. Фейербаха, 7

**МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**Кафедра матеріалів та технології виготовлення виробів  
транспортного призначення**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
з курсу  
«Матеріалознавство та технологія матеріалів»  
розділ «Технологія конструкційних матеріалів»**

**Харків 2010**

Фролов Є.А. Тимофеева Л.А. Комарова Г.Л. Матеріалознавство та технологія матеріалів. Технологія конструкційних матеріалів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 32 с.

Предмет дисципліни “Технологія конструкційних матеріалів - це закономірності (принципи) забезпечення необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей на залізничному транспорті.

Метою дисципліни є підготовка фахівців галузі металургії, ливарного виробництва, обробки металів тиском, зварювання, обробки різанням і використання отриманих знань в професійній діяльності.

Основними задачами є формування у студентів комплексу знань, умінь і уявлень, що необхідні при вирішенні практичних задач при визначенні технологій і виготовленні виробів для транспортних машин.

Після вивчення дисципліни студент повинен знати : суть процесів одержання металів і сплавів, особливості формоутворення заготовок різними способами, принципи отримання заготовок; структуру і фазові перетворення в сталях і сплавах; шляхи підвищення властивостей конструкційних матеріалів.

Студент повинен вміти: самостійно вибрати матеріал для конкретної деталі машин, виходячи з умов її роботи, вивчити технологію її виготовлення і призначити режим термічної обробки.

Призначено для студентів всіх форм навчання механічного і будівельного факультетів та відповідає робочій програмі з курсу “Матеріалознавство та технологія металів”.

Іл.16, табл. 1, бібліогр.: 5 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри МТВ від 2 лютого 2009 року, протокол №11.

Рецензент:

професор О.Б. Кондусова

## ЗМІСТ

1	МЕТАЛУРГІЯ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ .....	4
1.1	Виробництво чавуну .....	5
1.1.1	Вихідні продукти .....	5
1.1.2	Принцип роботи доменної печі .....	6
1.1.3	Фізико-хімічні процеси, що відбуваються в доменній печі .....	7
1.1.4	Продукти доменної плавки і техніко-економічні показники .....	9
1.1.5	Техніко-економічні показники доменної печі .....	10
1.2	Металургія сталі .....	11
1.2.1	Фізико-хімічні процеси, що відбуваються при виплавленні сталі .....	11
1.2.2	Способи отримання сталі .....	13
1.2.3	Способи підвищення якості металу .....	19
2	ТЕХНОЛОГІЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ....	21
2.1	Спеціальні види лиття .....	22
2.1.1	Виготовлення виливків у металеві форми .....	23
2.1.2	Виготовлення виливків відцентровим литтям .....	24
2.1.3	Виготовлення виливків литтям під тиском .....	24
2.1.4	Лиття за виплавленими моделями .....	25
2.1.5	Лиття в оболонкові форми .....	27
2.1.6	Електрошлакове лиття .....	28
3	ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ .....	29
3.1	Суть обробки матеріалів тиском .....	29
3.2	Вплив обробки металів тиском на структуру і властивості матеріалів .....	30
3.3	Види обробки матеріалів тиском .....	34
3.3.1	Прокатне виробництво .....	34
3.3.2	Вільне кування .....	38
3.3.3	Гаряче об'ємне штампування .....	39
3.3.4	Пресування .....	40
3.3.5	Волочіння .....	42
3.3.6	Листове штампування .....	43
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	45

# 1 МЕТАЛУРГІЯ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ

Металургія — це наука про методи добування металів з природних сполук (руд), сплавів та відходів. Для отримання металів використовують такі способи:

- пірометалургійний - один з найстаріших способів добування металів, оснований на тому, що необхідна для процесу плавки металу теплота забезпечується згорянням палива. Цей спосіб поки служить основним для отримання заліза і його сплавів, міді і інших металів;
- електromеталургійний спосіб здійснюється в дугових, індукційних і інших електричних печах або електролізом із розплавів і водяних розчинів хімічних сполук;
- гідрометалургійний спосіб полягає у витягуванні металів з руд розчинниками;
- хіміко-металургійний спосіб об'єднує хімічні і пірометалургійні процеси.

У сучасному виробництві поряд з означеними способами для отримання виробів із різноманітних конструкційних матеріалів використовують спосіб порошкової металургії.

Для отримання металів необхідні руда, флюси, паливо, вогнетривкі матеріали. **Рудою** називають гірську породу, з якої при сучасному рівні розвитку техніки і науки економічно вигідно витягувати метали. Залізні руди, наприклад, містять 30-60% металу. Вміст кольорових металів в рудах не більш 5%, а деяких - частина відсотка (молібдену, наприклад, до 0,02%).

**Флюсами** називаються матеріали, що використовуються для пониження температури плавлення порожньої породи, що входить до складу руди, утворення шлаку і виведення його з зони плавлення печі. Паливом в металургійних процесах можуть бути кокс, природний, доменний або коксовий газ, мазут.

**Вогнетривкі матеріали** використовують для внутрішньої футерівки робочого простору плавильних печей, що перебувають під впливом високих температур, розплавленого

металу і шлаку. За хімічним складом вогнетривкі матеріали поділяють на кислі, основні і нейтральні. Такі назви зумовлені вмістом кислих або основних окислів у вогнетривках. До кислих належать динас, кварцовий порошок і інші матеріали з високим вмістом кремнезему  $\text{SiO}_2$ . До основних - доломітові, магнезитові і інші матеріали з більшим вмістом основних оксидів:  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ . До нейтральних - матеріали, що складаються з оксидів  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  (шамот, хромомагнезит).

## **1.1 Виробництво чавуну**

Чавун виплавляють з залізних руд пірометалургійним способом у доменних печах.

### **1.1.1 Вихідні продукти**

До вихідних продуктів належать залізні руди, марганцеві руди, флюси, кокс.

Залізні руди містять залізо у вигляді оксидів, гідратів оксидів, карбонатів.

До залізних руд належать:

- магнітний залізняк, що містить заліза до 65% у вигляді магнітного оксиду  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;
- червоний залізняк, що містить 50-60% заліза у вигляді  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;
- бурий залізняк, що містить до 55% заліза у вигляді гідратів оксидів  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;
- шпатовий залізняк, що містить до 40% заліза у вигляді  $\text{FeCO}_3$ .

Паливом в процесі отримання чавуну є кокс, який є відновлювачем заліза з його оксидів. Флюсом при виробництві чавуну служить вапняк  $\text{CaCO}_3$ , що взаємодіє з порожньою породою і утворює шлаки.

Суть процесу отримання чавуну у доменних печах полягає у відновленні оксидів заліза – насиченні заліза вуглецем.

### **1.1.2 Принцип роботи доменної печі**

Чавун плавлять в доменних печах. Робочий простір печі включає колошник, шахту, розпар, заплечики, горн, лещадь (рисунок 1.1).

Домна працює за принципом протитечії: шихтові матеріали завантажуються зверху, а назустріч матеріалам, що опускаються, іде потік гарячих газів, що утворюються при згорянні палива.

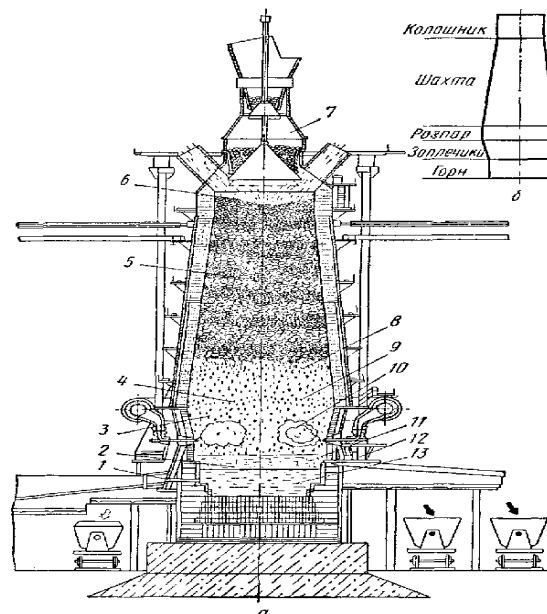


Рисунок 1.1 - Розріз (а) і профіль робочого простору доменної печі (б):

- 1 – чавунна лютка; 2 – горн; 3 – заплечики; 4 – розпар; 5 – шахта;
- 6 – колошник; 7 – засипний апарат; 8 – горизонт утворення чавуну;
- 9 – горизонт утворення шлаку; 10 – зона горіння коксу;
- 11 – шар шлаку; 12 – шлакова лютка; 13 – розплавлений чавун

У верхній частині колошника є засипний апарат, крізь який



у піч завантажують шихту-суміш, в певній пропорції складену з руди, палива і флюсів. Колошник складається з двох конусів: спочатку верхній конус відкритий, а нижній закритий. Після того як руда накопичилася, верхній конус закривають, а нижній відкривають. Така послідовність роботи механізму засипного апарату необхідна для запобігання виходу газів і пилу з доменної печі в атмосферу.

Нижня частина горна називається лещаддю, на якій накопичуються чавун і шлак, а після цього випускаються крізь відповідні отвори льотки.

У верхній частині горна містяться фурми, крізь які у піч надходить нагріте повітря, необхідне для горіння палива.

Кожна домна має повітронагрівачі, що працюють поперемінно. Поки один повітронагрівач віддає тепло холодному повітрю і в результаті охолоджується, другий повітронагрівач нагрівається до температури близько 1200°C, тобто, регенерує тепло, що виділяється при згорянні доменного газу. Продукти горіння виходять крізь димову трубу. Для безперебійного обслуговування печі необхідно мати три повітронагрівачі. Останнім часом для інтенсифікації процесу в доменну піч вдувають повітря, збагачене киснем.

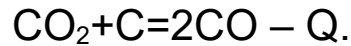
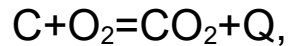
Поблизу фурм кокс, взаємодіючи з киснем повітря, згоряє. Внаслідок згорання виділяється теплота, яка призводить до того, що вище рівня фурм температура досягає більш, ніж 2000°C. Гарячі газы, піднімаючись, віддають теплоту шихтовим матеріалам.

Рідкий чавун, що накопичується в горні, періодично випускається крізь чавунну льотку в чавуновізнні ковші. З ковшів чавун зливається у міксер або надходить до розливальної машини і розливається на чушки. Шлак, що утворився, виводиться крізь шлакову льотку, розташовану вище чавунної.

### ***1.1.3 Фізико-хімічні процеси, що відбуваються в доменній печі***

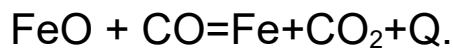
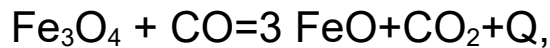
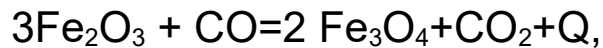
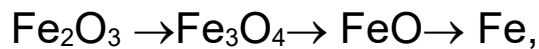
1) горіння палива. При вдуванні нагрітого повітря у фурми

доменної печі поблизу них протікають процеси горіння вуглецю коксу:



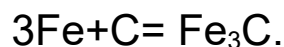
Тому газова фаза набуває відновних властивостей;

2) відновлення заліза, що здійснюється як побічно за рахунок CO, так і прямо - за рахунок C. Послідовність реакції можна уявити таким чином:



Реакції відбуваються з виділенням тепла і у твердому стані, в наслідок чого у нижній зоні шахти утворюється губчасте залізо;

3) реакції науглецювання. Залізо під тиском коксу і флюсів опускається вниз і при температурі 1000 - 1100°C інтенсивно науглецюється



Під час насичення вуглецем температура плавлення заліза знижується і на рівні розпару і заплечиків домни виникають перші порції рідкого металу. Краплі залізовуглецевого сплаву, протікаючи по коксу, додатково насичуються вуглецем, марганцем, кремнієм, фосфором, що відновлюються з руди і флюсів, а також сіркою, що міститься у коксі;

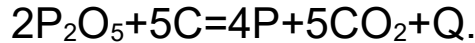
4) відновлення марганцю і кремнію





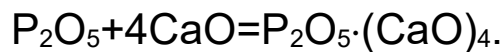
Відновлені в районі заплечиків марганець і кремній розчиняються у чавуні;

5) відновлення фосфору

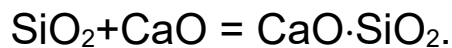


Щоб звільнитися від фосфору, до складу шихтових матеріалів вводять флюс (вапняк  $\text{CaCO}_3$ ), який при нагріванні розкладається;

6) реакції шлакоутворення



Сполука  $\text{SiO}_2$ , що міститься в порожній породі, шляхом реакції шлакоутворення переходить в шлак.



Шлак, що утворюється, більш легкий, ніж основний метал, тому він накопичується на поверхні рідкого металу і виводиться крізь спеціальну лютку.

#### ***1.1.4 Продукти доменної плавки і техніко-економічні показники***

До основних продуктів доменної плавки відносяться чавун і феросплави. У доменних печах одержують чавун різноманітного хімічного складу в залежності від його призначення.

1 Переробний чавун призначений для отримання сталі. Особливістю переробних чавунів є їхня висока твердість, погана оброблюваність різанням, тому як конструкційний

матеріал вони використовуються рідко.

2 Ливарний чавун призначений для отримання фасонного лиття, відрізняється підвищеним вмістом кремнію.

3 Феросплави - це сплави заліза з кремнієм, марганцем і іншими елементами. До них належать феросиліцій (9... 13% Si), феромарганець (70... 75% Mn), їх використовують для розкислення і легування сталі.

Основну масу серед продуктів доменного виробництва займають переробні чавуни (75... 80%). Частка ливарних чавунів складає 15-20%, феросплавів - 1-2%.

До побічних продуктів доменної плавки належать шлак і доменний газ. З шлаку виготовляють шлаковату, цемент, ситали, а доменний газ після очищення використовують як паливо для нагрівання повітря, що подається у доменну піч.

### **1.1.5 Техніко-економічні показники доменної печі**

До техніко-економічних показників доменної печі належать:

1) коефіцієнт використання корисного об'єму печі (КВКО), що являє відношення корисного об'єму печі  $V$  [м<sup>3</sup>] до її середньодобової продуктивності  $P$ [т]

$$КВКО = \frac{V}{P}, \text{ м}^3/\text{т}.$$

Чим вище продуктивність доменної печі, тим менший КВКО. Для більшості доменних печей КВКО=0,5-0,7;

2) питома витрата коксу  $K$

$$K = \frac{A}{P},$$

де  $A$  - витрата коксу за добу;

$P$  - середньодобова продуктивність печі, т.

Питома витрата коксу - важливий показник роботи доменної печі, бо вартість коксу складає приблизно 50% вартості чавуну.

Поліпшення техніко-економічних показників роботи доменних печей можна досягти вдосконаленням їхньої конструкції, інтенсифікацією процесу плавлення, збагачуванням повітряного дуття киснем.

## 1.2 Металургія сталі

Основним матеріалом для виробництва сталі є переробний чавун і сталевий брухт (скрап). Сталь відрізняється від чавуну меншим вмістом вуглецю (до 2.14%) і домішок (таблиця 1.1).

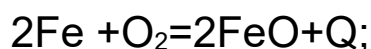
Таблиця 1.1

Склад, %, мас	C	Si	Mn	P	S
Переробний чавун	4,0-4,4	0,76-1,26	До 1,75	0,15-0,3	0,03-0,07
Сталь низьковуглецева	0,14-0,22	0,12-0,13	0,40-0,65	До 0,055	До 0,055

Таким чином, для переробки чавуну на сталь необхідно знизити вміст вуглецю і домішок. Тому суттю переробки чавуну на сталь є зниження вмісту вуглецю і домішок шляхом їхнього вибіркового окислення і переходу їх у шлак і газу у процесі плавки. У вигляді шлаку - всі домішки, у вигляді газу - вуглець і частково сірка ( $SO_2$ ). Процес отримання сталі з чавуну окислювальний.

### **1.2.1 Фізико-хімічні процеси, що відбуваються при виплавленні сталі**

1) у відповідності до закону діючих мас першим окисляється залізо, бо його більше всього



2) FeO, що утворилося, віддає кисень більш активним елементам Si і Mn, різко підвищуючи температуру металу

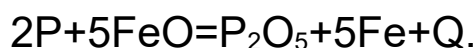


в шлак

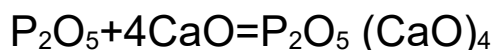


в шлак;

3) окислювання P - під час використання чавунів, багатих фосфором



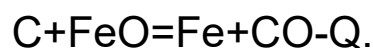
Щоб усунути фосфор, вводиться оксид кальцію – CaO



Основний  
фосфористий шлак.

Шлак знімають декілька разів до тих пір, доки в сталі залишиться допустима кількість фосфору;

4) кипіння сталі відбувається в міру її прогрівання до більш високих температур. Відбувається реакція окислювання вуглецю



Бульбашки оксиду вуглецю CO, виділяючись з рідкого металу, призводять до "кипіння" сталі. На цьому етапі зменшується вміст вуглецю у металі до необхідного, частково вилучаються неметалеві включення, а також інші гази. Це сприяє підвищенню якості металу. Тому етап "кипіння" є

основним в процесі виплавлення сталі;

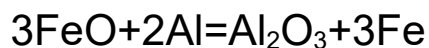
5) розкислення сталі полягає у відновленні оксиду заліза, що призводить до зменшення вмісту у сталі кисню - шкідливої домішки, яка знижує механічні властивості металу. Для цього до рідкої сталі вводять розкислювачі (феромарганець, феросиліцій, алюміній), елементи, що містять (Mn, Si, Al), які мають більшу спорідненість з киснем, ніж залізо.



в шлак



в шлак



в шлак;

6) доведення сталі до потрібного хімічного складу і розливання. На цьому етапі здійснюється легування шляхом введення феросплавів або чистих металів в необхідній кількості до розплаву.

### **1.2.2 Способи отримання сталі**

Чавун переробляють на сталь в різноманітних за принципом дії металургійних печах: кисневих конверторах, мартенівських, електроступах.

#### **Киснево-конвертерний процес**

Киснево-конвертерний процес - це виплавлення сталі з рідкого чавуну у конвертері з основною футеровкою шляхом

продування киснем крізь водоохолоджувану фурму. Кисневий конвертер - це грушоподібної форми агрегат (рисунок 1.2).

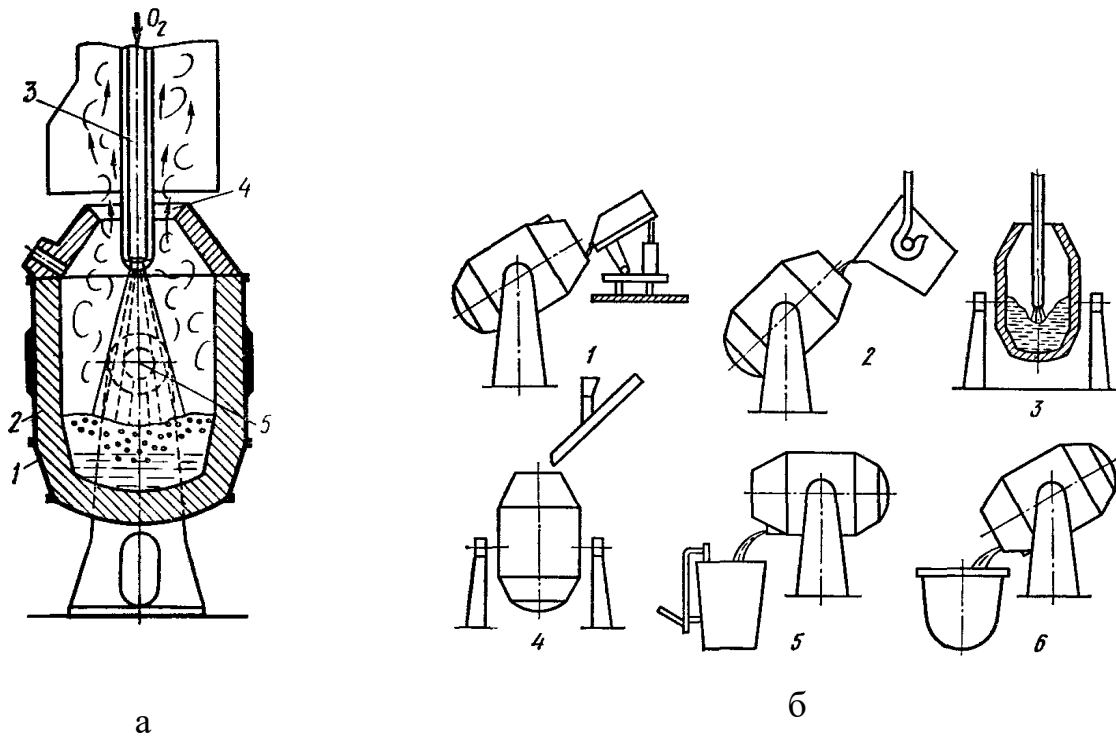


Рисунок 1.2 - Схема будови кисневого конвертера:

(а): 1 – фурма, по якій надходить кисень; 2 – горловина; 3- реторта грушоподібної форми; 4 – футеровка робочого простору; 5 – поворотні цапфи; (б) технологічні операції киснево-конвертерної плавки: 1 – завантаження сталюого скрапу; 2 – заливання розплавленого чавуну; 3 – продування киснем; 4 – завантаження вапна та залізної руди з початком продування та у ході плавки; 5 – випускання металу; 6 – випускання шлаку

Місткість конвертера 130-350 т рідкого чавуну. У процесі роботи конвертер повертається на цапфах навколо горизонтальної осі на  $360^{\circ}$ . Шихтовими матеріалами є рідкий переробний чавун, сталевий брухт, залізна руда і ін.

Перед плавкою конвертер нахиляють, крізь горловину заливають рідкий чавун, завантажують інші шихтові матеріали (сталевого брухту не більше 30%, руди до 8%). Після цього конвертер повертають у вертикальне положення, вводять крізь



горловину в середину конвертера водоохолоджувану фурму і крізь неї подають кисень під тиском. Реакції окислення домішок чавуну відбуваються з виділенням тепла, внаслідок чого у зоні під фурмою розвивається температура 2400°C.

Після 15-хвилинного продування піднімають фурму, нахиляють конвертер, беруть пробу на аналіз, і знімають більшу частину шлаку. Після цього конвертер ставлять в вертикальне положення, опускають фурму і вдруге продувають кисень, тривалість цього процесу залежить від результатів експрес-аналізу.

Плавка в сучасних конвертерах закінчується через 25-50 хв. По закінченні процесу фурму піднімають, конвертер нахиляють і випускають сталь в ківш. Під час випуску сталі з конвертера її розкислюють в ковші, після цього з конвертера зливають шлак.

Основними перевагами киснево-конвертерного процесу є висока продуктивність, незначні капітальні витрати, незначні енергозатрати при виробництві сталі. До недоліків даного процесу слід віднести високий вміст газів ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  і т. ін.), неможливість отримання легованих сталей, неможливість використання будь-якої кількості скрапу.

## **Мартенівське виробництво**

На відміну від конвертерного мартенівський процес виробництва сталі не може проходити без додаткового тепла ззовні. Нагрівання і розплавлення металу здійснюється за рахунок тепла, що виділяється при згорянні палива (газу, мазуту, кам'яновугільного пилу).

За шихтою мартенівський процес класифікується таким чином: 1) рудний процес (рідкий чавун і руда для прискорення процесу); 2) скрап-рудний (рідкий чавун, руда і брухт до 25-50%); 3) скрап-процес (30-40% чушкового чавуну і 60-70% скрапу).

Мартенівський процес - це отримання сталі з чавуну у полуменевих регенеративних печах. Висока температура для

отримання сталі у розплавленому стані забезпечується регенерацією тепла пічних газів. Кожна піч має чотири регенератори для роздільного підігріву газоподібного палива і повітря, що подаються у піч (рисунок 1.3).

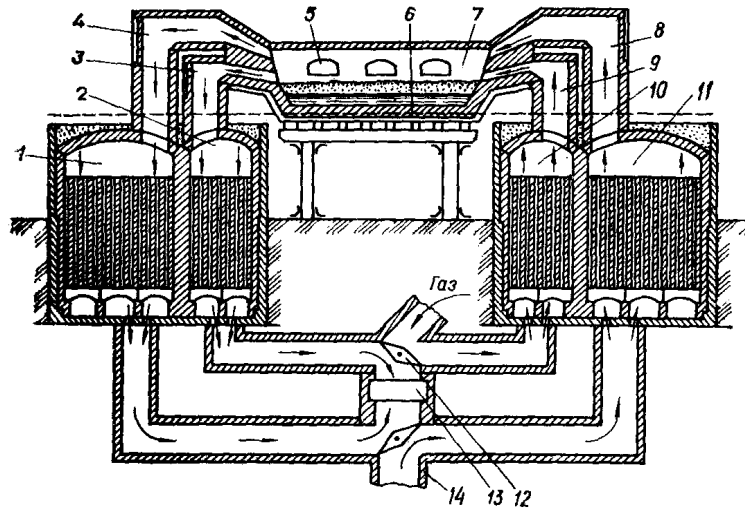


Рисунок 1.3 - Схема будови мартенівської печі:

- 1, 2, 10, 11 – регенератори для нагріву газу та повітря;
- 3, 8– канали для подачі газу; 4, 9 – канали для подачі повітря;
- 5 – завалочні вікна; 6 – под пічі; 7 – плавильний простір;
- 12, 14 – клапани для зміни напрямку руху газу та повітря;
- 13 – труба для виходу продуктів згорання

Мартенівський спосіб отримав широке застосування завдяки можливості використання різноманітної сировини і різноманітного палива. Це - універсальний спосіб витоплення великого асортименту вуглецевих і легованих сталей.

До переваг мартенівського способу слід віднести можливість отримання сталі заданого хімічного складу, в тому числі легованих сталей; виробництво сталі більш високої якості у порівнянні з конвертерним процесом з точки зору пониженого вмісту шкідливих домішок - сірки, фосфору, газів, неметалевих включень; можливість використання будь-якої кількості скрапу в шихтових матеріалах.

Недоліками вважаються низька продуктивність процесу

(плавка триває 6-12 годин), висока вартість обладнання, великі капітальні витрати. Тому мартенівський спосіб виплавлення став поступово замінюватися конвертерним.

Для прискорення процесу отримання сталі в мартенівських печах застосовують кисень двома шляхами:

- 1) збагачують повітряне дуття киснем до 25-35%
- 2) короткочасно вводять в піч кисень.

## **Електросталеплавильне виробництво**

Плавильні електropечі мають переваги у порівнянні з іншими плавильними агрегатами, тому що в них можна досягти високої температури, витоплювати сталь будь-якого складу, розкисляти сталь з утворенням мінімальної кількості неметалевих включень - продуктів розкислення. Тому електropечі використовують для виплавлення конструкційних, високолегованих, інструментальних, спеціальних сталей і сплавів.

Для виплавлення сталі в електropечах використовують печі двох типів: дугові і індукційні (рисунок 1.4). У дугових печах нагрівання і розплавлення шихти здійснюється за рахунок тепла, що випромінюється електричною дугою. Електрична дуга утворюється в плавильному просторі між вертикально встановленими електродами і металевою шихтою. Звичайно застосовуються вугільні або графітові електроди. Місткість печей коливається у широких межах: від 3 - 5 до 200 – 250 т.

Індукційна тигельна піч складається з водоохолоджуваного індуктора, в середині якого міститься тигель з металевою шихтою.

Індукційні печі відрізняються від дугових способом утворення тепла для розплавлення металу. При проходженні змінного електричного струму крізь індуктор печі утворюється змінне магнітне поле. Магнітний потік наводить у вторинному колі (завантаженому металі) змінний струм Фуко, під впливом якого метал нагрівається і розплавляється. Виплавлення сталі

у цих печах здійснюють за способом переплаву. Вигар легуючих елементів при цьому незначний.

Індукційні печі мають переваги перед дуговими, оскільки в них відсутня електрична дуга. Це дозволяє витоплювати сталь з низьким вмістом вуглецю і газів. Крім того, при плавленні в індукційній печі виникають електродинамічні сили, що сприяють вирівнюванню хімічного складу сталі. Невеликі розміри печей дозволяють розміщати їх у камері, де можна створювати будь-яку атмосферу і вакуум.

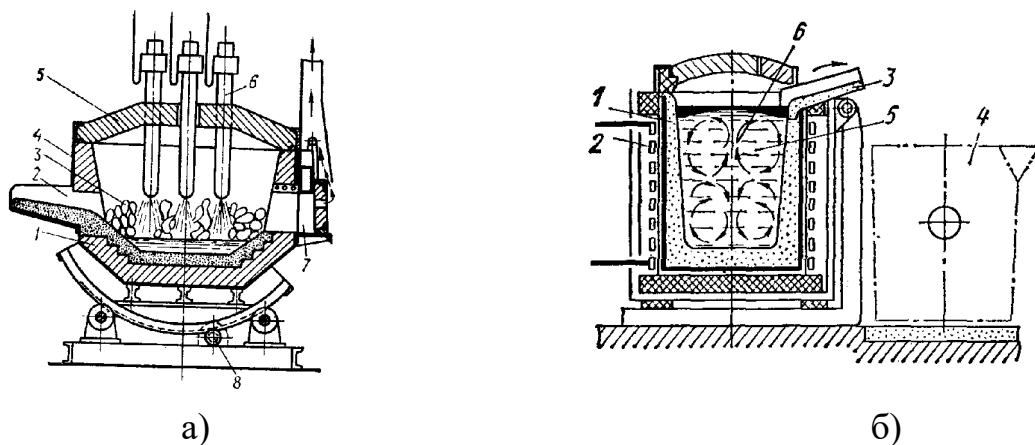


Рисунок 1.4 - Схема будови дугової електричної печі (а):

1 – вогнетривка футеровка, 2 – жолоб для випуску сталі, 3 – шихта, 4 – сталевий циліндр, 5 – склепіння печі, 6 – графітізовані електроди, 7 – завантажувальне вікно, 8 – механізм нахилу пічі; та схема будови індукційної печі (б): 1 – тигель із вогнетривких матеріалів, 2- індуктор, що охолоджується водою, 3 – жолоб для випуску сталі, 4 – сталерозливний ківш, 5 – метал, 6 – вихрові струми

До переваг електропечей слід віднести можливість досягнення високої температури для розплавлення тугоплавких елементів, здатних вести безокислювальний процес, переплавляти будь-які леговані сталі.

Перспективи розвитку металургії направлені на розвиток дуплекс – процесу - поєднання основного киснево - конвертерного виробництва з електросталеплавильним. Суть

цього способу полягає у тому, що рідка сталь, отримана у конвертері, заливається у міксер - ємкість для зберігання і підігрівання рідкого металу, а після цього допрацьовується у електropечі, (частіше - в індукційній).

### **Пряме відновлення заліза**

Одержання заліза безпосередньо з руд можливо трьома способами, які відрізняються кінцевим станом продукту. Він може бути отриманий у вигляді губчатого заліза, криці та рідкого металу.

Губчатє залізо отримують при порівняно низьких температурах (950 - 1100 °С), при яких відновлюється залізо і порожня порода не плавиться. Для одержання губчатого заліза звичайно використовують багаті чисті від шкідливих домішок руди.

Найбільш перспективним способом є одержання губчатого заліза в печах з киплячим шаром. Залізо відновлюють воднем.

Крицю одержують при більш високих температурах (1250 - 1350 °С) з плавленням порожньої породи і створенням шлаку.

Крицю використовують як шихту для електropечей і мартенівських печей.

З руди можна одержувати рідкий метал безпосередньо при таких температурах, коли залізо і шлак розплавляються. Відновлення заліза проводиться в спеціальному реакторі, в який подають одночасно порошкоподібну руду, вуглецевий пил, і кисень.

### **1.2.3 Способи підвищення якості металу**

Для підвищення якості металу використовують різноманітні способи обробки. До них належать вакуумна обробка, обробка металу синтетичним шлаком, електрошлаковий переплав (ЕШП), вакуумно-дуговий (ВДП), вакуумно-індукційний переплав (ВІП), переплав металу у електронно-променевих (ЕЛП) і плазмених печах (ПДП).

Вакуумну дегазацію проводять для зменшення вмісту в

металі газів і неметалевих включень. Позапічне вакуумування поділяється на чотири основних види: вакуумування у ковші, поза ковшом, в струмені металу і у виливниці. При першому способі ківш з металом розміщують у герметичній камері, з якої безперервно виводять повітря і газ. Гази, що виділяються, викликають "кипіння" і сприяють перемішуванню сталі. Вакуумування проводять перед розливанням сталі в виливниці. Для вакуумування в ковші останній з рідкою сталлю розміщують у камері, що закривається герметичною кришкою. Вакуумними насосами у камері створюється розрідження до залишкового тиску від 0,1 до 1 мм рт. ст.

Вакуумування у струмені полягає в тому, що в середині герметичної камери встановлений розливальний ківш, у який надходить сталь із роздавального ковша. Внаслідок такої обробки вміст кисню знижується на 70%, водню на 65%. Вакуумування у виливниці проводять під час твердіння в ній сталі. Для цього на виливницю встановлюють вакуумну камеру. Вміст водню при цьому способі зменшується в 4-5 разів; кисню на 60%. У сучасному виробництві розроблені нові способи вакуумної обробки металу, що поєднують безперервне розливання з вакуумуванням.

Обробка металу синтетичним шлаком приводить до зменшення вмісту сірки, кисню і неметалевих включень, а це поліпшує пластичність і міцність металу. Такі сталі застосовують для виготовлення відповідальних деталей.

Електрошлаковому переплаву підлягає виплавлений в дуговій печі і прокатаний на круглі прутки метал. Електрошлаковий переплав сприяє зниженню у металі вмісту кисню в 1,5-2 рази, неметалевих включень в 2-3 рази, пониженню концентрації сірки. Найбільш широко ЕШП використовують для виплавлення високоякісних і жароміцних сталей.

Вакуумно-дуговий і вакуумно-індукційний переплав застосовують з метою вилучення з металу газів і неметалевих включень. Зливки ВДП відрізняються високою рівномірністю хімічного складу, підвищеними механічними властивостями. З них виготовляють відповідальні деталі.

При ЕЛП плавлення металу відбувається у вакуумі під дією електронів, що випромінюються катодною гарматою печі. На опроміненій поверхні кінетична енергія електронів перетворюється в теплову. ЕЛП застосовують для витоплення сталі особливо високої чистоти, а також сплавів тугоплавких елементів - вольфраму, молібдену і ін.

ПДП служить також одним із способів отримання сталі і сплавів дуже високої чистоти. Джерелом тепла тут є плазменна дуга, що горить між розплавленим металом і катодом плазмотрону. Для утворення плазми застосовують аргон або гелій.

## **2 ТЕХНОЛОГІЯ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Суть ливарного виробництва полягає в тому, що фасонні деталі (заготовки) одержують заливанням рідкого металу в ливарну форму, порожнину якої відповідає їхнім розмірам.

Для одержання виливків у машинобудуванні найбільш широко застосовуються такі сплави: сірі, ковкі і високоміцні чавуни, вуглецеві та леговані сталі, сплави кольорових металів на основі алюмінію, міді, магнію, титану, молібдену і інших тугоплавких металів.

### **Класифікація способів одержання виливків**

Сучасне ливарне виробництво має у своєму розпорядженні такі способи виготовлення виливків:

- 1) у піщано-глинистих формах з ручним і машинним формуванням;
- 2) у металевих формах;
- 3) під тиском;
- 4) за виплавленими моделями;
- 5) в оболонкових формах;
- 6) відцентровим литтям;
- 7) електрошлаковим литтям;

- 8) литтям під низьким тиском;
- 9) вакуумним усмоктуванням;
- 10) витисненням;
- 11) рідким штампуванням.

### **Різновиди ливарних форм**

Для одержання виливків використовують різні ливарні форми, що відрізняються терміном служби (разові, багаторазові); станом перед заливанням (сухі, підсушені, сирі, що хімічно твердіють, що самотвердіють) і технологією виготовлення (уручну, на машинах за виплавленими моделями і ін.)

Разові форми виготовляють із піщано-глинистих, піщано-смоляних формувальних сумішей, і служать вони для одержання тільки одного виливка. Після заливання разову форму руйнують для звільнення затверділого виливка.

Багаторазові рознімні форми виготовляють із шамоту, азбесту, алебастру і інших вогнетривких матеріалів. Такі форми витримують кілька десятків і сотень заготівель.

Багаторазові форми (кокілі) виготовляють металевими: із чавуну сталі і іноді з мідних і алюмінієвих сплавів. Від температури плавлення сплаву, з якого одержують вилівок, залежить термін служби кокілю. Так, в одному кокілі можна виготовити до декількох сотень виливків із сталі, до декількох тисяч виливків із чавуну і до сотень тисяч виливків із сплавів кольорових металів. Через високу вартість кокілі використовують тільки в серійному і масовому виробництві. Вилівок витягається з кокілю спеціальними штовхальниками, які при розкритті половин кокілю виходять із своїх гнізд і виштовхують вилівок.

## **2.1 Спеціальні види лиття**

Отримані в піщаних формах виливки в багатьох випадках не відповідають вимогам сучасної технології внаслідок недостатньої точності і шорсткості поверхні. Тому в сучасному виробництві широко використовують спеціальні види лиття.



Перевагою виливків, одержаних спеціальними способами, у порівнянні з литтям у піщані форми, є, їх більш висока точність, добра якість поверхні, малі припуски на механічну обробку.

Розглянемо, які існують спеціальні види лиття.

### **2.1.1 Виготовлення виливків у металеві форми**

Замість разової піщано-глинистої форми використовують металеву форму-кокіль. Її переваги: в 60 разів більш висока теплопровідність, дрібнозерниста будова тіла виливка, отже, вище її міцність.

Переваги:

- а) відпадає необхідність у модельно-опочному оснащенні, у формувальній і стрижневій сумішах;
- б) підвищується точність і чистота поверхні виливків;
- в) обслуговування - невисока кваліфікація;
- г) підвищується продуктивність і знижується необхідність у виробничих площах.

Недоліки:

- а) висока вартість кокілів. Тому застосовуються тільки в серійному виробництві.
- б) використовують при виробництві нескладних за конфігурацією виливків із чавуну і стали.

Кокілі бувають:

Нерознімні витряхні та рознімні з горизонтальним і вертикальним рознімачем. Виготовляють кокілі із сірого чавуну, сталі кольорових сплавів литтям з наступною обробкою.

Операції виготовлення виливків у кокілях:

- а) очищення кокілю від старого облицювання;
- б) нанесення вогнетривкого покриття або фарбування робочої поверхні кокілю;

- в) складання форми з установленням стрижнів;
- г) заливання кокілю;
- д) витримка виливка у формі;
- е) розкриття кокілю, видалення з нього виливка.

### **2.1.2 Виготовлення виливків відцентровим литтям**

Сутність: рідкий метал заливають в обертову з певною швидкістю ливарну форму. Метал відцентровою силою притискається до стінок форми (рисунок 2.1). Це забезпечує одержання щільних виливків з підвищеною міцністю, тому що гази і шлаки, що мають нижчу щільність, витісняються у внутрішні порожнини виливка і далі їх видаляють механічною обробкою. Вісь обертання може бути горизонтальною, вертикальною та похилою). При виготовленні труб, гільзи, втулок - вісь обертання горизонтальна. При виготовленні коліс, шківів, шестірень - вертикальна. Відцентрове лиття застосовують у масовому, серійному і одиничному виробництві - труби, циліндрові втулки, гільзи автотракторних двигунів, заготовки для поршневих кілець, шестірні, шківви, а також одержують двошарові біметалічні виливки, по черзі заливаючи форму різними сплавами. Частіше відцентровий спосіб використовують для одержання литих чавунних труб і труб гребінчастого типу.

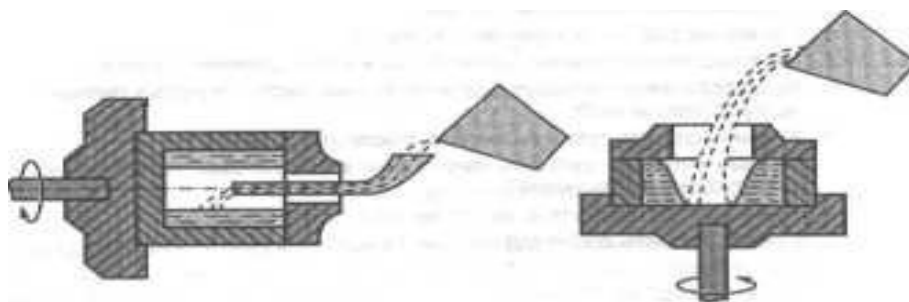


Рисунок 2.1 – Відцентрове лиття:

- а) з горизонтальною віссю обертання: б) з вертикальною

### **2.1.3 Виготовлення виливків литтям під тиском**

Сутність полягає в тому, що рідким металом примусово заповнюють металеву прес-форму під тиском, яку витримують до повної кристалізації виливка (рисунок 2.2). Тиск забезпечує швидке і добре заповнення форми, високу точність і малу шорсткість поверхні виливка.

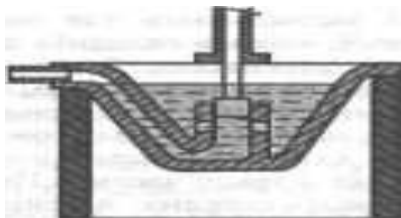


Рисунок 2.2 - Лиття під тиском

Примусове живлення виливка рідким металом виключає можливість утворення усадочних раковин, пористості і не вимагає встановлення прибутків.

Прискорена кристалізація металу в металевій прес-формі під тиском дає дрібнозернисту структуру. При цьому знижується газова пористість. Виливки, отримані таким способом, не мають припусків на механічну обробку. Можна одержувати виливки з товщиною стінки до 0,5 мм, складної конфігурації і з отвором діаметром до 1 мм.

Недоліки: висока вартість - застосовується тільки в масовому виробництві тонкостінних виливків досить складної конфігурації із сплавів і кольорових металів вагою до 50 кг.

Лиття під тиском здійснюється на компресорних і поршневих машинах, 200 - 400 виливків у годину.

Поршневі машини бувають із гарячою або холодною камерою стиску, розташованою горизонтально або вертикально.

Машини з гарячою камерою стиску, у яких камера перебуває безпосередньо в розплаві, застосовують для одержання виливків з низькою температурою плавлення на основі цинку, олова і свинцю.

Машини з холодною камерою стиску, у яких камера винесена за межі розплаву, використовують для одержання виливків з тугоплавких кольорових сплавів на основі міді,

алюмінію, магнію.

### **2.1.4 Лиття за виплавлюваними моделями**

Сутність полягає в тому, що за нероз'ємною легкоплавкою моделлю виготовляють нерознімну разову форму. Модель із цієї форми виплавляють, а порожнину, що утворилася, заливають рідким металом. При цьому способі виливки дуже точні, об'єм механічної обробки зменшується на 80-100% і в 1,5 -2 рази скорочується витрата рідкого металу.

Висока точність і чистота поверхні виливки забезпечуються:

- а) застосуванням нерознімних моделей;
- б) відсутністю формувальних ухилів;
- в) виготовленням стрижнів у процесі формування, а не окремо в стрижневих рознімних ящиках;
- г) використанням кварцового борошна як наповнювача формувальної суміші, що забезпечує гладку поверхню виливка.

Таке лиття застосовують при виробництві виливків дуже складної конфігурації з будь-яких ливарних сплавів. Такими способами лиття виготовляють виливки масою 0,02-100 кг із товщиною стінки до 0,5 мм і діаметром отворів до 2 мм.

Технологія лиття має такі етапи:

- 1) виготовлення рознімних прес-форм.
- 2) одержання нерознімних легкоплавких моделей у прес-формах
- 3) виготовлення нерознімної форми для легкоплавких моделей
- 4) виплавляння моделей з форм
- 5) випал форми
- 6) заливання форми металом і вибивання готових виливків

Рознімні прес-форми виготовляють із сталі або алюмінієвих

сплавів.

Порожнина точно повторює конфігурацію і розміри майбутньої деталі з урахуванням усадки модельного складу. Нерознімні легкоплавкі моделі одержують за пресуванням у прес-форму модельного складу, нагрітого до тістоподібного стану. Використовуються: парафін, стеарин, віск, церезин, каніфоль і ін.

**Легкоплавка модель** - точна копія виготовленої деталі.

Блок моделей занурюють у вогнетривку суміш: суспензія маршаліту (кварцове борошно) - 60-70% в етил-силікат (30-40%). Після занурення на моделі залишається тонка вогнетривка плівка суміші. Ця ж суміш заповнює всі порожнини і отвори в моделях, утворює стрижні. Для зміцнення стрижні посипають сухим кварцовим піском, який утворює вогнетривкий шар, що потім сушать.

Операції занурення і сушіння повторюють від трьох до п'яти разів. Форми виготовляють у вигляді багат шарової оболонки заформованими легкоплавкими моделями. Потім форму ставлять у сушильну шафу при температурі 100°C.

Моделі і елементи ливникової системи (стояк і живильники) плавляться і впливають із форми. Для витікання залишків модельного складу з порожнини, а також зміцнення оболонки: ливарну форму поміщають у металевий ящик, засипають металевим дробом і поміщають у термічну піч, де обпалюють при температурі 800-900°C. Заливання здійснюють у гарячу форму, а вибивання на віброустановках. Крім того, використовується також випалювання моделей.

Цим способом одержують виливки до 3,5 тонн із чавуну, сталі, кольорових металів.

### ***2.1.5 Лиття в оболонкові форми***

У цьому випадку використовуються разові ливарні форми у вигляді оболонки (рос. - оболочки). У ролі зв'язуючого в них застосовуються фенольні і терморективні смоли, які міцно цементують кварцовий пісок (наповнювач). Це виключає

потребу в опоках, різко знижує витрату формувальної суміші. Зазначені операції легко автоматизуються і механізуються. Даний спосіб лиття забезпечує малу шорсткість і високу точність.

Лиття в оболонкові форми застосовують у крупносерійному і масовому виробництвах при одержанні відповідальних фасонних виливків з різних сплавів.

Технологія виготовлення така: пульверизатором наносять на металеву модельну плиту розділову сполуку (рос. - разделительный состав), потім модельну плиту нагрівають в електричній печі до 200-220°C, установлюють над бункером і закріплюють моделлю вниз. Бункер перевертають на 180 градусів і формувальна суміш падає на нагріту модельну плиту. При витримці протягом 20-30 годин смола плавиться і обволікає тонкою плівкою дрібні зерна піску, утворює оболонку товщиною 6-8 мм. Бункер вертається на місце і формувальна суміш, яка не прореагувала, падає на його дно. Потім модельну плиту з німічною оболонкою відправляють в електричну піч із температурою 350°C. Смола полімеризується і твердіє, утворюючи міцну оболонкову напівформу, За такою ж технологією виготовляють і іншу напівформу.

Після зняття напівформ із модельної плити збирають оболонкову форму і поміщають у металевий ящик, що засипають крупним піском або чавунним дробом.

Така модель легко звільняється при вибиванні.

### **2.1.6 Електрошлакове лиття**

У цьому випадку застосовується технологія електрошлакового переплаву.

Використовується метал найвищої якості. Розплавлювання металу, заповнення ним форми і затвердіння відбуваються безупинно і одночасно. При звичайному литті ці процеси розділяються, що погіршує якість лиття. Таке лиття використовується для одержання особливо крупних виливків

вагою в десятки тонн. Електрошлакова ливарна форма виконує дві функції: служить плавильним агрегатом і формує виливок. Процес відбувається під шаром рідких шлаків, що служить джерелом тепла, очищає метал від сірки і фосфору, захищає його від кисню, азоту і повітря, є тепловою надставкою до металу, який кристалізується, це усуває усадочні раковини і необхідність у прибутках та утворює на поверхні вилівка плівку, що забезпечує чисту поверхню. Кристалізація вилівка відбувається знизу нагору при малому об'ємі рідкого металу, що виключає ліквідацію і осьові крихкості у вилівку.

Переваги ЕШЛ: висока якість великого вилівка, не потрібні плавильні агрегати, розливальні ковші, формувальні суміші, ливникові системи і прибуток, заощаджується метал (на 1 т готового виробу заощаджується 2.3 т металу.) ЕШЛ застосовується в енергомашинобудуванні, суднобудуванні і металургії.

## **3 ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ**

### **3.1 Сутність обробки металів тиском**

Обробка металів тиском заснована на спроможності металів у певних умовах пластично деформуватися внаслідок дії на тіло, що деформується, зовнішніх сил.

Процеси обробки металів тиском за призначенням поділяють на два види:

а) для отримання заготовок постійного поперечного перерізу по довжині (прутків, дроту, смуг, листів) в будівельних конструкціях або для отримання заготовок, що застосовуються для наступного виготовлення з них деталей. До них належать прокатка, пресування і волочіння.

2) для отримання деталей або заготовок, які мають приблизно форми і розміри готових деталей і вимагають обробки різанням для отримання кінцевих розмірів. До них

належать кування, штампування і ін.

Перевагою обробки металів тиском є: 1) можливість значного зменшення відходів металу у порівнянні з обробкою різанням; 2) висока продуктивність процесу; 3) можливість отримання деталей з найкращими виробничими властивостями (міцністю, зносостійкістю) при найменшій їх масі.

### **3.2 Вплив обробки металів тиском на структуру і властивості матеріалів**

В залежності від температури процесу розрізняють холодну і гарячу пластичну деформацію.

При холодній пластичній деформації у структурі металу, що деформується, відбуваються зміни, які супроводжуються трансформацією форми зерен, а саме їхнім витягуванням в напрямі дії деформуючих сил. Це явище називається текстурою. Що стосується механічних властивостей, то холодна пластична деформація супроводжується підвищенням показників міцності і зниженням пластичності. Це явище зветься наклепом. Зміна механічних властивостей залежить від ступеня пластичної деформації ( $\varepsilon$ ), що можна виразити такою формулою:

$$\varepsilon = \frac{H - h}{H} \times 100\% ,$$

де  $H$  - висота заготовки до обробки тиском;

$h$  - висота заготовки після обробки тиском.

Чим більший ступінь деформації, тим нижча пластичність і вища міцність (рисунок 3.1). Відновити пластичні властивості зміцненого матеріалу можна за допомогою нагрівання до температури вищої, ніж температура рекристалізації  $T_r$  (рисунок 3.2). Остання являє собою температуру, при якій починають відбуватись рекристалізаційні процеси, внаслідок чого міцність знижується, а пластичність підвищується. Температура рекристалізації пов'язана з температурою



плавлення такою формулою:

$$T_p = a \cdot T_{пл}, [K],$$

де  $T_p$  - абсолютна температура рекристалізації, К;  
 $T_{пл}$  - абсолютна температура плавлення, К.

Коефіцієнт  $a$  залежить від чистоти металів. Для залізовуглецевих сплавів  $a=0,4$ . Для чистих металів  $a=0,2$ .

Термічна обробка, що проводиться з метою зняття наклепу і полягає у нагріванні до температури, вищої, ніж температура рекристалізації, називається рекристалізаційним відпалом.

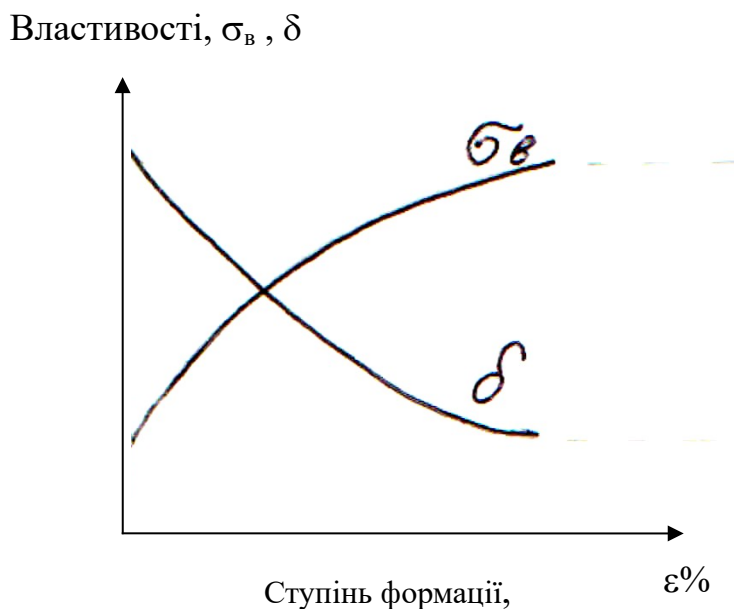


Рисунок 3.1 - Зміна властивостей матеріалу в залежності від ступеня деформації

Властивості,  $\sigma_v$ ,  $\delta$



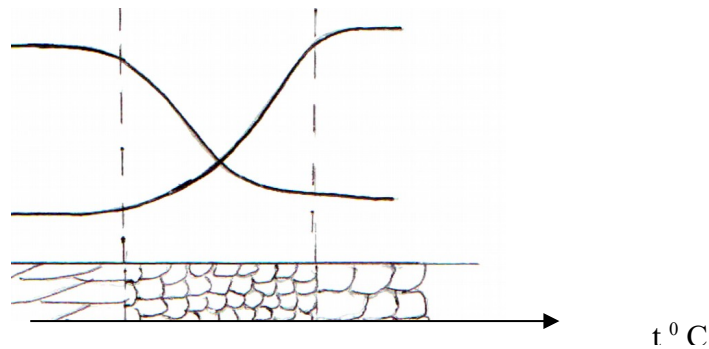


Рисунок 3.2 - Вплив нагрівання на механічні властивості деформованого металу

Таким чином, холодна пластична деформація здійснюється при температурі нижчій, ніж температура рекристалізації, а гаряча - вищій, ніж ця температура (рисунок 3.2).

При гарячій пластичній деформації опір деформуванню в 10-20 разів менший, ніж при холодній. У зв'язку з цим гарячу пластичну деформацію використовують для виготовлення масивних деталей, бо при цьому потрібне менше зусилля для деформування.

Процес гарячої пластичної деформації складається з таких стадій: 1) нагрівання; 2) видержка при температурі; 3) безпосередньо пластична деформація; 4) охолодження.

### Температурні інтервали обробки металів тиском

Під час вибору температури нагрівання треба домагатися того, щоб не перевищити максимальну температуру  $t_{\max}$ , що дорівнює

$$t_{\max} = t_{\text{пл}} - (100 \div 150)^\circ\text{C},$$

де  $t_{\text{пл}}$  - температура початку плавлення,  $^\circ\text{C}$ .

Нагрівання вище  $t_{\max}$  призводить до браку: перегріву або перепалу. Перегрів супроводжується зростанням зерен і деяким зниженням пластичності. Перепал же викликає оплавлення границь зерен і їхнє окислення. Це призводить до появи тріщин. Перегрітий метал можна виправити термічною

обробкою (відпалом), переплав являє невивправний вид браку.  
Мінімальна температура нагрівання  $t_{\min}$  дорівнює

$$t_{\min} = t_p + (150 - 200)^\circ C,$$

де  $t_p$  - температура рекристалізації,  $^\circ C$ .

### Нагрівання і видержка при температурі обробки

Тривалість видержки залежить від таких основних факторів: розміру заготовки, теплопровідності металу, швидкості нагрівання. Необхідно нагрівати якомога повільніше, щоб уникнути появи тріщин. Час нагрівання ( $T_{\text{нагр}}$ ) визначається такою формулою:

$$\tau_{\text{наг}} = \alpha \cdot k \cdot D$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт, зв'язаний з теплопровідністю металу:

$\alpha = 1$  для вуглецевих сталей;

$\alpha = 2$  для середньолегованих сталей;

$\alpha = 3$  для високолегованих конструкційних сталей;

$\alpha = 4$  для високолегованих інструментальних сталей;

$k$  - коефіцієнт, що залежить від щільності укладки (в основному є в межах від 1 до 2);

$D$  - діаметр або сторона квадрату заготовки.

Час видержки ( $\tau_B$ ) при постійній температурі визначається формулою

$$\tau_B = \left( \frac{1}{3} \div \frac{1}{4} \right) \tau_{\text{наг}}$$

### Охолодження заготовки

Охолодження після деформації необхідно проводити якомога повільніше, щоб уникнути появи всередині напруження і тріщин. Для цього передбачені спеціальні охолоджувальні камери, колодязь, засипання сухим піском.

### 3.3 Види обробки металів тиском

Для отримання заготовки або виробів метали обробляються тиском різноманітними способами: прокаткою, волочінням, пресуванням, куванням, штампуванням і ін.

#### 3.3.1 Прокатне виробництво

Прокатка - це вид обробки, при якому заготовки обтискуються двома обертовими валками прокатного стану. Метал втягується в проміжок між валками силами тертя.

Деформація металу при прокатці має місце на невеликій ділянці (рисунок 3.1), що називається зоною деформації.

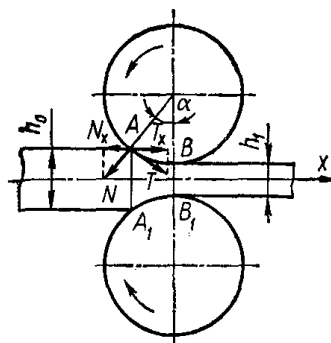


Рисунок 3.3 - Схема прокатки

Під час прокатки збільшується довжина і ширина заготовки і зменшується її товщина. Відносна зміна товщини заготовки ( $\epsilon$ )

визначається таким чином:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0},$$

де,  $h_0, h_1$  – висота заготовки відповідно до і після прокатки;

$\varepsilon$  - називається відносним обтиском або ступенем деформації. Друга характеристика при прокатці  $\mu$  називається коефіцієнтом витяжки:

$$\mu = \frac{l}{l_0} = \frac{F_0}{F},$$

де  $l_0$  і  $F_0$ -первинна довжина і площа поперечного перерізу;

$l$  і  $F$  - ті самі величини після прокатки. Це одна з важливих характеристик процесу прокатки. За одне пропускання заготовки між валками вона складає 1,1 – 1,6, а інколи досягає 2 – 2,5.

Розрізняють такі основні види прокатки: поздовжня, поперечна, поперечно-гвинтова.

При поздовжньому прокатуванні заготовки переміщуються перпендикулярно до осей валків, які обертаються у протилежних напрямках.

При поперечному прокатуванні валки, що обертаються навколо паралельних осей в одному напрямі, обертають заготовку, що деформується при примусовому переміщенні вздовж валків.

Поперечно-гвинтове прокатування здійснюється при обертанні в одному напрямі валків, розташованих під кутом один до одного. Таке розташування валків забезпечує появу осьового зусилля, завдяки якому заготовки переміщуються вздовж осей валків. Поперечна і поперечно-гвинтова прокатка застосовується при виготовленні виробів із змінним за довжиною перерізом.

## **Продукція прокатного виробництва**

Форма поперечного перерізу прокатної смуги називається профілем. Сукупність форм і розмірів профілів, що одержуються прокаткою, називають сортаментом. Весь сортамент виробів можна поділити на чотири групи:

1) сортовий прокат, що може бути загального призначення (круглий, квадратний, кутовий, стрічковий (рисунок 3.4,а), і фасонний (швелер, рейка, двотаврові балки і ін. рисунок 3.4,б);

2) листовий прокат, що в свою чергу за товщиною поділяється на:

тонкий ( $d=0,2 - 4$  мм,

товстий  $d > 4$  мм,

фольга  $d < 0,2$  мм.

трубний, що буває безшовний і зварний.

Спеціальний і періодичний профіль (колеса, кільця, кулі і ін.)

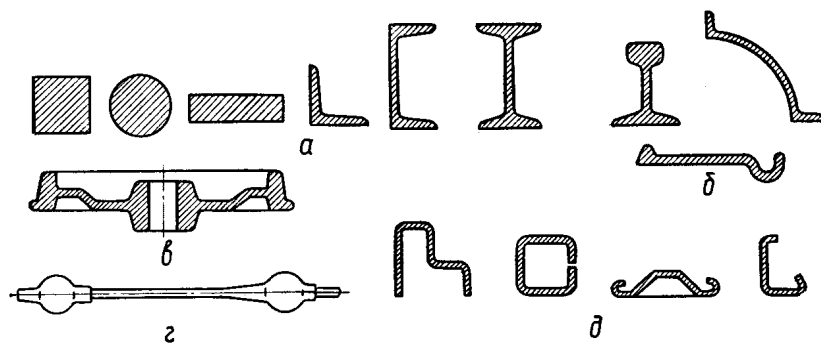


Рисунок 3.4 - Приклади профілів сортового прокату:

- а) загального призначення; б) фасонний; в) вагонні колеса;  
г) періодичний прокат; д) гнутий профіль

## Інструмент і обладнання для прокатки

Інструментом для прокатки є валки, що в залежності від прокатуваного профілю можуть бути гладкими, які застосовуються для прокатки листів, стрічок і т.ін., і

каліброваними, за допомогою яких прокатуються всі види сортового прокату.

Виріз у тілі валка називається рівчаком. Сукупність рівчаків пари валків називається калібром.

За призначенням калібри прокатних валків поділяються на обтискні (що витягують), чорнові і чистові.

Обладнання для прокатки - це прокатні стани, що класифікуються за двома ознаками:

за кількістю розташованих в робочій частині валків;  
за призначенням.

За кількістю валків прокатні стани поділяються на дво-, три- і багатовалкові стани. Багатовалкові стани мають два робочих валки невеликого діаметра, а решта валків - опорні (більшого діаметра). Вони запобігають прогинанню тонких робочих валків, що забезпечує точність виробів.

За призначенням прокатні стани поділяються на два види:

1) обтискні - для отримання заготовок і напівфабрикатів.  
**Це - блюмінги і слябінги.** На блюмінгах одержуємо заготовку квадратного перерізу, а на слябінгах - прямокутного. Отримана продукція відповідно називається блюм, що іде на виготовлення сортового прокату, і сляб, що іде для виготовлення листа;

2) стани для прокатування готових виробів, що поділяються в залежності від виду готової продукції на рейкобалкові, сортові, листові, трубопрокатні, штабопрокатні і спеціального прокату.

Виготовлення спеціальних видів прокату є одним з найбільш економічних засобів формоутворення заготовок. До спеціальних видів прокату належить:

- 1) виготовлення деталей типу коліс, бандажів, кілець;
- 2) прокатка періодичних профілів, що використовуються як заготовки для наступного штампування або механічної

обробки. Періодичний профіль виготовляється поперечною або поперечно-гвинтовою прокаткою;

3) виготовлення гнутих профілів. Площа поперечного перерізу листа залишається незмінною при прокатуванні, а змінюється тільки його форма.

### **3.3.2 Вільне кування**

Кування - це процес виготовлення деталей за допомогою плоских бойків, встановлених на молоті або пресі, із застосуванням універсального інструменту і пристроїв. Суть способу полягає у тому, що нагріту заготовку укладають на нижній боек, а верхнім рухомим послідовно деформують окремі частини заготовки (рисунок 3.5).

Куванням одержують заготовки для подальшої механічної обробки і називаються вони поковками.

Вихідний матеріал для вільного кування - зливки, блюми і прокат.

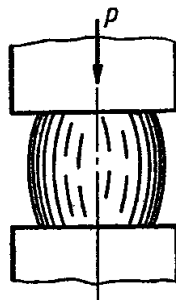


Рисунок 3.5 - Схема кування

Звичайно кування оцінюють коефіцієнтом уковування  $u$  (відношення площ перерізу заготовки  $F_1$  і поковки  $F_2$ ). Достатнім коефіцієнт уковування для злиwkів вважається 2,5 - 3, для прокату - 1,3 - 1,5.



$$y = \frac{F_1}{F_2}.$$

Основні операції вільного кування: осадка, протягування, прошивка, згинання, закручування, рубання.

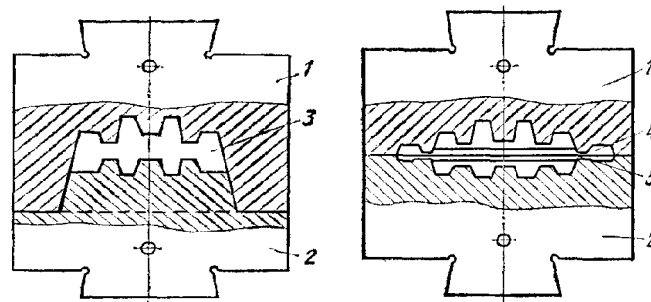
### 3.3.3 Гаряче об'ємне штампування

Об'ємне гаряче штампування - це процес отримання поковок у штампах, при якому переміщення металу заготовки від центра у бік обмежене поверхнями порожнини штампа. Робоча порожнина штампа являє собою відбиток форми поковки, яку необхідно виготовити.

Як заготовку для гарячого штампування найчастіше застосовують прокат круглий, квадратний, прямокутний, періодичний.

Технологічний процес гарячого об'ємного штампування складається з відділення прокату заготовки необхідної маси, нагрівання заготовки, штампування заготовки, термічної обробки поковок.

В залежності від типу штампа розрізняють штампування у відкритих і закритих штампах. Штампування у відкритих штампах характеризується змінним проміжком між рухомою і нерухомою частинами штампа. Об'єм заготовки більше об'єму порожнини штампа (рисунок 3.6).



а)

б)

### Рисунок 3.6 - Схема штампування:

а) у відкритих штампах: 1 - задиркова канава; б) у закритих штампах: 1 - верхня частина штампа; 2 - заготовка; 3 - нижня частина штампа

Штампування у закритих штампах характеризується тим, що проміжок між рухомою і нерухомою частиною штампа постійний і невеликий.

Вибір способу штампування залежить від форми і розмірів поковки, властивостей матеріалу і ін.

#### **3.3.4Пресування**

Це - вид обробки тиском, при якому зливоч, розміщений у спеціальному контейнері, витісняється пуансоном крізь отвір у матриці (рисунок 3.7). Пресування - високопродуктивний і економічний спосіб обробки металів і сплавів, за допомогою якого можна отримати суцільні і порожнисті профілі. При пресуванні вихід придатного металу звичайно складає 70-80%.

Процес пресування складається з таких стадій:

- підготовка зливки до пресування (вилучення зовнішніх дефектів, розрізання на мірні частини і ін.);
- нагрівання зливок до заданої температури і подача до контейнера;
- власне пресування;
- відділення виробу.

Вихідним матеріалом для пресування служить зливоч або прокат. Пресуванням можна одержувати будь-які профілі і обробляти спеціальні сталі, кольорові метали і їхні сплави, які у зв'язку з низькою пластичністю іншими видами обробки тиском деформувати важко.

Технологія пресування така. Заготовку, нагріту до

необхідної температури, розміщують у контейнері, на одному кінці якого міститься матриця, що являє собою отвір, відповідний перерізу виробу, що пресується. З іншого боку в контейнер входить пуансон. Останній здійснює тиск на заготовку, що змушує метал витіснитися крізь отвір у матриці, внаслідок чого одержують необхідний виріб. Пресування відбувається в умовах всебічного стиску. Тому пресуванням можна обробляти як пластичні, так і малопластичні сплави: мідні, алюмінієві, магнієві, титанові, вуглецеві і легovanі сталі і ін (рисунок 3.7).

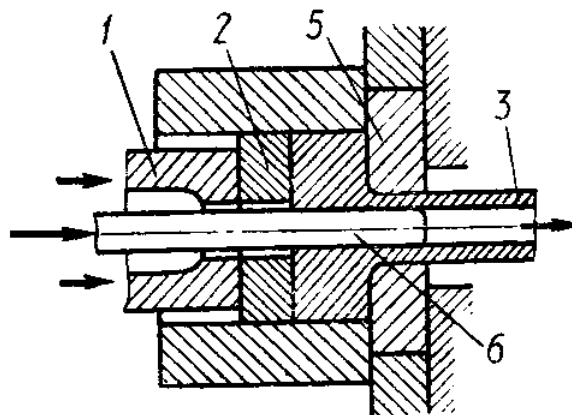


Рисунок 3.7 - Схема прямого пресування:

- 1 - пуансон; 2 - заготовка; 3 - матриця; 4 - голка; 5 - прес-шайба;  
6 - контейнер

Коефіцієнт витяжки металу  $\mu$  при пресуванні дорівнює відношенню площі перерізу контейнера  $F_k$  до площі перерізу отвору матриці  $F_m$ .

$$\mu = \frac{F_k}{F_m}$$

Ступінь обтиснення металу при пресуванні  $\lambda$  визначається відношенням різниці площ поперечного перерізу контейнера і отвору матриці до площі поперечного перерізу контейнера

$$\lambda = \frac{F_k - F_m}{F_k}$$

Пресуванням виготовляють вироби різноманітного сортаменту з кольорових металів і сплавів, у тому числі прутки діаметром 3-250 мм, труби діаметром 20-400 мм із стінкою товщиною 1.5-12 мм і інші профілі. З вуглецевих сталей 20, 35, 45, 50, конструкційних 30ХГСА, 40ХН, корозійностійких (нержавіючих) Х18Н10Т і інших високолегованих сталей пресують труби з внутрішнім діаметром 30-160 мм зі стінкою товщиною 2-10 мм. На рисунку 3.6 подано приклади пресованих профілів.

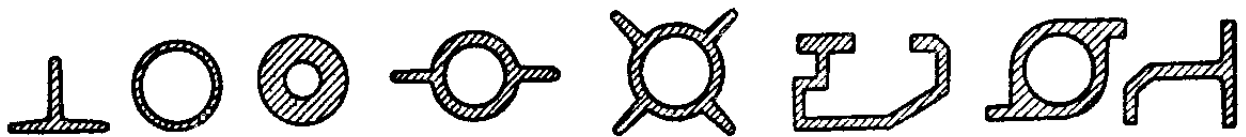


Рисунок 3.8 - Приклади пресованих профілів

### 3.3.5 Волочіння

Волочіння - процес протягування заготовки крізь отвір у матриці (волоці), що має декілька менший переріз, ніж вихідна заготовка (рисунок 3.9).

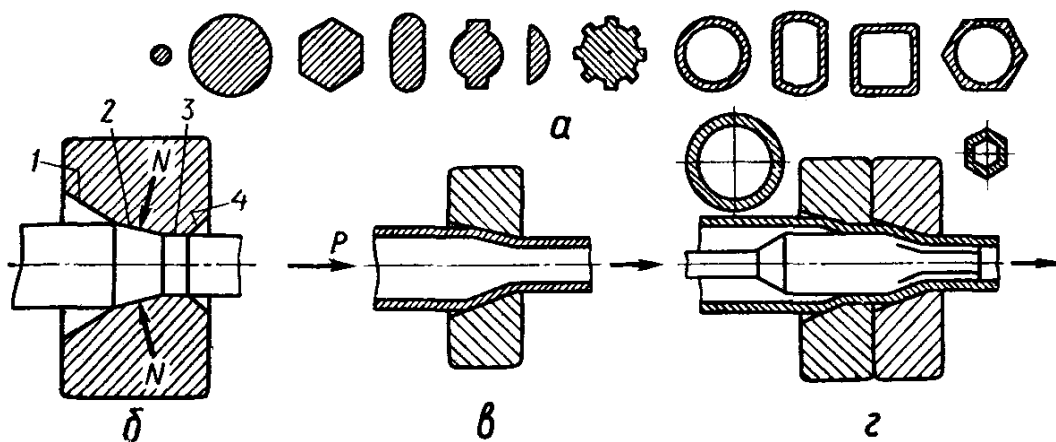


Рисунок 3.9 - Приклади профілей, що отримують волочінням

а) схема волочіння прутка (1 –змащувальна воронка, 2 – робочий конус, 3 – калібруючий пояс, 4 – вихідний конус) та схеми волочіння труби:  
в) без оправки, г) з застосуванням оправки

При волочінні виробам надають точних розмірів, заданої геометричної форми, чистої і гладкої поверхні. Піддаючи заготовку волочінню декілька разів, можна одержувати вироби з високою точністю.

Волочіння, як правило, здійснюють у холодному стані. Тепло, що виділяється при деформації, відводять безперервним охолодженням заготовки емульсією, водою або повітрям. У процесі волочіння метал наклепується, що викликає зміну механічних властивостей. Розрахунок маршруту волочіння включає визначення сумарної витяжки або сумарного обтискання і числа проходів. Між окремими проходами проводять проміжний рекристалізаційний відпал для зняття наклепу.

Для зменшення зусилля волочіння, зносу інструменту і поліпшення поверхні виробу, що обробляється, використовують мастило.

Волочінням обробляють різноманітні сорти сталі і кольорові метали. Сортамент виробів, що виготовляються волочінням, дуже різноманітний: дріт, фасонні профілі, труби, прутки. Волочіння труб здійснюють двома засобами: для зменшення тільки діаметру і водночас для зменшення і товщини стінки труби, а також для виготовлення фасонних труб.

### **3.3.6 Листове штампування**

Листове штампування - один з найрозповсюдженіших способів отримання деталей складної конфігурації з тонкими стінками. Для деталей, одержуваних листовим штампуванням, характерне те, що товщина їх стінок несуттєво відрізняється

від товщини вихідної заготовки.

Суть способу листового штампування - штампування виробів або заготовок з листового прокату без великого перерозподілу металу в поперечному перерізі вихідної заготовки. Товщина заготовки при холодному штампуванні звичайно не більша ніж 10 мм і лише в порівняно рідких випадках - більша, ніж 20 мм. Деталі з заготовки товщиною більшою, ніж 10 мм штампують з нагрівом до кувальних температур (гаряче листове штампування). Холодне листове штампування набуло більш широкого застосування, ніж гаряче.

Листове штампування включає дві групи штампувальних операцій: розділові і формозмінні. До розділових операцій відносять різання, вирубку контура і інші, при яких частина металу відділяється від заготовки. До формозмінних відносять згинання, витягування і ін. (рисунок 3.10).

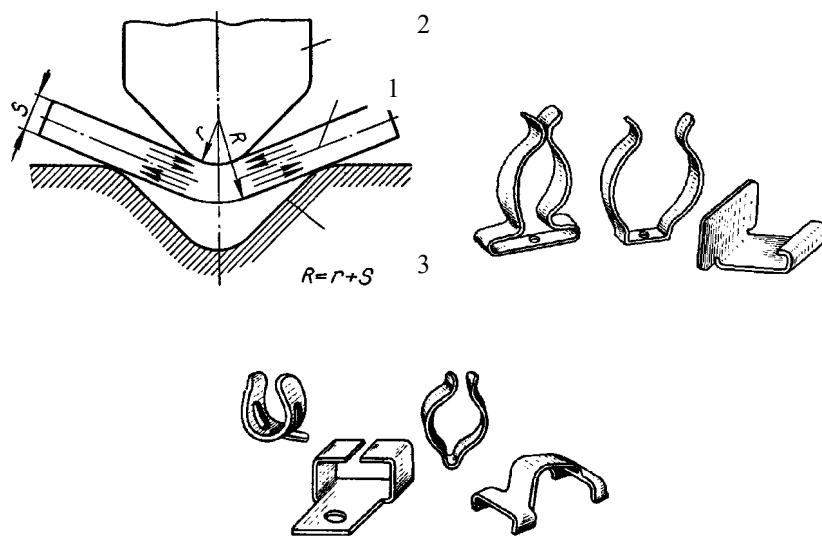


Рисунок 3.10 - Схема згинання і виробу, що отримують цією операцією:

1 - нейтральний шар; 2 - пуансон; 3 - матриця

Матеріалом заготовки при листовому штампуванні є

низьковуглецева сталь, пластичні леговані сталі, мідь, однофазна латунь, алюміній і його сплави, магнієві сплави, титан і ін.

Листовим штампуванням одержують плоскі і просторові деталі масою від часток грама і розмірами, що обчислюються частками міліметра, до деталей масою у десятки кілограмів і розмірами, що складають декілька метрів.

До переваг листового штампування слід віднести: високу продуктивність; високу точність виробів, що виключає механічну обробку; можливість автоматизації процесу.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.

2 Дриц М.Е., Москалев М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение. - М.: Высшая школа, 1990. - 447 с.

3 Технология конструкционных материалов / Под ред. А.М. Дальского. - М.: Машиностроение, 1985.

4 Технология обработки конструкционных материалов / Под ред. П.Г. Петрухи. - М.: Высшая школа, 1991. - 512 с.

5 Технологія металів та інших конструкційних матеріалів / Під ред. Г.А. Прейса. – К.: Вища школа, 1975. - 372 с.





