

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних робіт з дисципліни**  
**«Технологія конструкційних матеріалів» (частина 1)**  
для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка,  
132 Матеріалознавство, 133 Галузеве машинобудування,  
134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка, 275 Транспортні  
технології, 022 Дизайн, 035 Філологія  
денної форми навчання

2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» (частина 1) для студентів спеціальностей: 131 Прикладна механіка; 132 Матеріалознавство; 133 Галузеве машинобудування; 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка; 275 Транспортні технології; 022 Дизайн; 035 Філологія денної форми навчання/ Укл. В.М. Плескач, І.П. Волчок, І.В. Акімов – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 62 с.

Укладачі:	В.М. Плескач, доц., к.т.н. <u>І.П. Волчок</u> , проф., д.т.н. І.В. Акімов, доц., к.т.н.
Рецензент:	О.А. Мітяєв, проф., д.т.н.
Експерт:	В.О. Савченко, к.т.н., доц.
Відповідальний за випуск:	І.В. Акімов, доц., к.т.н.

Рекомендовано до видання  
НМК ФБАД, протокол № 1  
від 30 08 2024 р.

Затверджено на засіданні  
кафедри КМХТ, протокол  
№ 1 від 06.08.2024 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
<b>1 Дослідження структури і механічних властивостей</b>	
<b>конструкційних матеріалів .....</b>	<b>5</b>
1.1_Вивчення макро- і мікроструктури сплавів.....	5
1.2_Визначення міцності і пластичності сталей.....	11
1.3_Визначення твердості металів і сплавів .....	17
1.4_Визначення ударної в'язкості металів.....	23
<b>2 Ливарне виробництво .....</b>	<b>28</b>
2.1 Лиття у піщані форми.....	28
2.2 Лиття в оболонкові форми.....	32
2.3 Кокільне лиття.....	37
2.4 Відцентрове лиття.....	40
<b>3 Оброблення металів тиском.....</b>	<b>45</b>
3.1_Визначення ступенів деформування при обробленні металів тиском.....	45
3.2_Об'ємне штампування.....	51
3.3_Листове штампування.....	57
Література.....	62
Частина 2	

## ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» (частина 1) призначені для закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях. Вони сприяють засвоєнню студентами певних елементів технологічних процесів. З метою повнішого опанування матеріалу та набуття практичних навичок у більшості лабораторних робіт закладені елементи найпростіших наукових досліджень.

Зміст лабораторних робіт поділений на дві частини. У першій частині наводяться короткі теоретичні відомості, необхідні для підготовки до самостійного виконання роботи; у другій - методичні вказівки щодо виконання робіт та складання письмових звітів. Для перевірки готовності до виконання роботи у кожній лабораторній роботі наведені контрольні запитання.

Лабораторні роботи розраховані на двогодинне заняття. Перед початком кожної лабораторної роботи проводиться інструктаж з техніки безпеки. Контроль знань рекомендується проводити шляхом тестування або співбесіди.

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

## Лабораторна робота № 1.1

### 1.1 Вивчення макро- і мікроструктури сплавів

#### 1.1.1 Мета роботи

Набути навичок аналізу макроструктури чорних і кольорових сплавів на зламах і макрошліфах; вивчити мікроструктуру вуглецевих доєвтектоїдної, евтектоїдної та заєвтектоїдної сталей, сірого, ковкого та високоміцного чавунів; проаналізувати вплив вмісту вуглецю і форми графіту на механічні властивості сталей і чавунів.

#### 1.1.2 Загальні відомості

Під час твердіння виливків та зливків внаслідок нерівномірного охолодження формується їх структура - утворюються **кристали (зерна)**, різні за розмірами, формою та орієнтацією. Одночасно внаслідок повільної вибіркової кристалізації утворюється неоднорідність структури: виникають **ліквація** та **усадка**. Шкідливі домішки (сірка, фосфор та інші) витісняються на межі зерен (**міждендритна ліквація**). У той же час компоненти та домішки з малою густиною (наприклад, олово, вуглець, сірка) переміщуються з нижньої частини зливка (або вилівка) у верхню – утворюється **зональна ліквація**. Внаслідок **усадки** (зменшення об'єму металу під час кристалізації та охолодження) утворюється ще один вид дефектів – **усадкові раковини і пори**. Інші види оброблення металів – **гаряче або холодне пластичне деформування, зварювання, термічне оброблення і т.п.** – також суттєво впливають на структуру металу виробу, а отже й на його механічні та службові властивості. Тому контроль макро- і мікроструктури сплавів є одним з головних методів контролю їх якості.

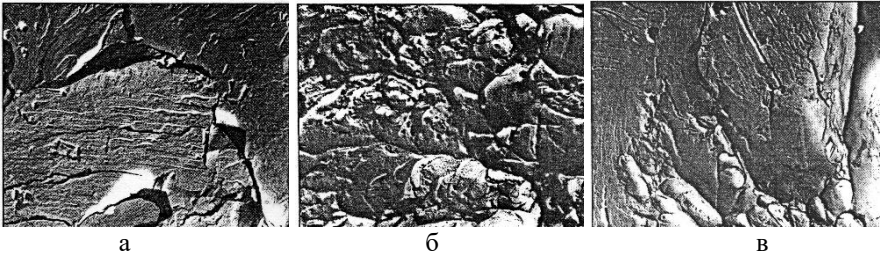
**Макроструктура** – це будова металу (сплаву), видима неозброєним оком або при невеликому збільшенні (до 30 разів). Макроструктурний аналіз застосовують для виявлення як зовнішніх дефектів (тріщини, раковини), так і внутрішніх (пори, шлакові включення тощо). Він належить до найпростіших методів контролю і

здійснюється *зовнішнім оглядом* заготовок або виробів, дослідженням *зламів* та макроструктури сплавів на спеціально підготовлених (відполірованих та протравлених) зразках, що називаються *макрошліфами* (або *темплетами*).

При зовнішньому огляді виробів виявляють тріщини, газові раковини, усадкові пори, шлакові вclusions, відколи та інші дефекти.

Аналіз зламів, тобто поверхонь, по яких відбулося руйнування зразків або деталей, дозволяє зробити висновок про характер, а іноді й про причини руйнування.

При руйнуванні, яке відбувається без помітного пластичного деформування, утворюється *крихкий злам* (рис. 1.1, а), що характеризується наявністю на поверхні блискучих плоских фасеток (відколів).



×8000

а – крихкий; б – в'язкий; в – змішаний

Рисунок 1.1 – Види зламів

Крихкі злами поділяються на транскристалітні (руйнування по тілу зерна) і міжкристалітне (руйнування по межах зерен). Вони дозволяють оцінити форму та розміри зерен.

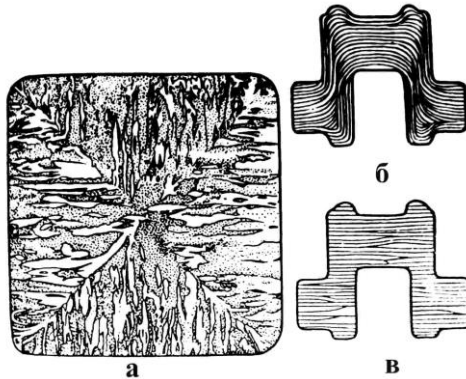
При руйнуванні, якому передують значне пластичне деформування, утворюється *в'язкий злам* (рис. 1.1, б). Зерна на зламі zdeформовані, мають матовий вигляд. Такі злами не дозволяють судити про форму та розміри зерен.

При *змішаному зламі* (рис. 1.1, в) утворюються одночасно ділянки в'язкого та крихкого руйнувань.

*Злам від втоми* спостерігається у деталях, які працюють при багаторазових знакозмінних навантаженнях (вали, осі, шестерні і т.п.). Він складається з зони зародження втомної тріщини, викликаної, як

правило, яким-небудь концентратором напружень (поверхневі тріщини, забоїни, шлакові включення і т.п.) та її поступового поширення і зони доламу (швидкого руйнування).

На макрошліфах виявляють будову і внутрішні дефекти металу. Їхня поверхня обробляється (травиться) розчинами, до складу яких входить соляна та азотна кислоти, хромпик, мідний купорос і вода. Внаслідок неоднакової травимості різних структурних складників на макрошліфах вивчаються форма та розміри зерен (кристалітів), волокнистість структури після оброблення тиском (рис. 1.2), глибина вибілу в чавунах або загартованого шару у сталях, дендритна або зональна ліквіація, дефекти зварних з'єднань (непровари, пористість, тріщини), усадкові раковини, шлакові включення тощо.



а – лита сталь (поперечний переріз зливка); б – кована деталь;  
в – деталь, вирізана з прокату  
Рисунок 1.2 – Макроструктура

Аналіз *мікроструктури* - це вивчення будови металу під оптичним мікроскопом при збільшенні у 50...12000 разів або під електронним мікроскопом при збільшенні у 5000000 разів і більше.

Мікроаналіз за допомогою оптичного мікроскопа здійснюється на спеціальних зразках – мікрошліфах. Мікрошліфи розглядаються спочатку у нетравленому стані для виявлення пор, тріщин, неметалевих включень в сталях і графіту в чавунах.

Для травлення вуглецевих сталей і чавунів найчастіше використовують 5%-ний розчин азотної (нітратної) кислоти в

етилловому спирті. Травленням виявляють форму, розміри і взаємне розташування зерен, кількісне співвідношення структурних складників сталей і металевої матриці ливарних чавунів. Основними структурними складниками цих сплавів є ферит, аустеніт, цементит, перліт, ледебурит і графіт (рис. 1.3).

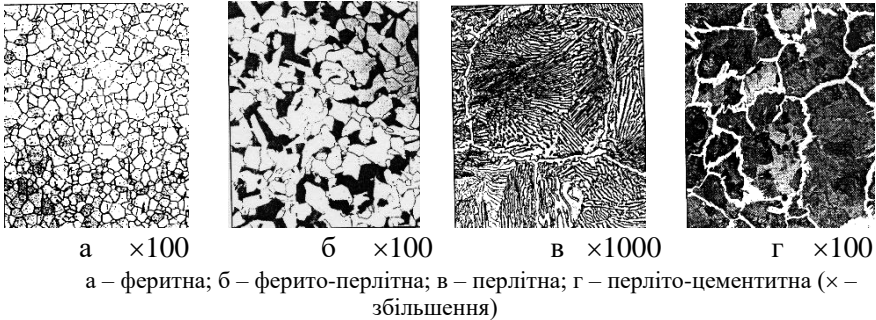


Рисунок 1.3 – Мікроструктура сталі

**Ферит** – твердий розчин вуглецю в  $\alpha$ -Fe з 0,006% С при кімнатній температурі та 0,02% С при температурі 727°C. Має високу пластичність і низьку твердість (80...100 НВ).

**Аустеніт** – твердий розчин вуглецю у  $\gamma$ -Fe. Розчинність вуглецю при температурі 727°C становить 0,8%, при температурі 1147°C - 2,14%. Має добру пластичність і твердість 170...220 НВ.

**Цементит** – хімічна сполука  $Fe_3C$ , містить 6,67% С. Має високу твердість (близько 1000 НВ), крихкий.

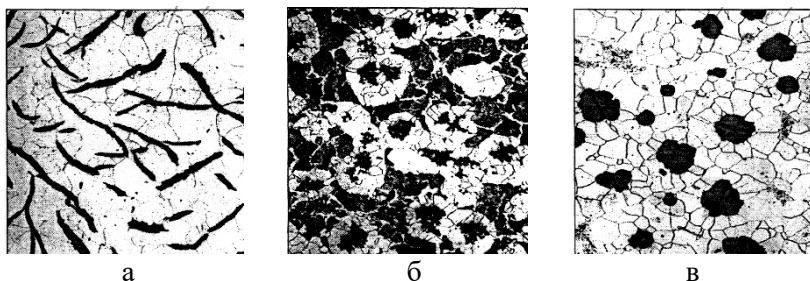
**Перліт** – механічна суміш фериту та цементиту. Утворюється при найнижчій температурі існування аустеніту – 727°C (евтектоїд). Містить 0,8% С, має твердість 250...280 НВ.

У білих чавунах зустрічається ще один структурний складник – **ледебурит** - механічна суміш перліту і цементиту при температурах до 727°C або аустеніту та цементиту при температурах від 727 до 1147°C. Містить 4,3% С і має найнижчу температуру плавлення серед залізобуглецевих сплавів - 1147°C (евтектика). Твердість близько 600 НВ при кімнатній температурі.

**Графіт** – вуглець у вільному стані, має низькі твердість (100 НВ) і міцність. Зустрічається у чавунних виливках. Залежно від технології лиття форма графіту може бути пластинчастою (сірий



чавун), пластівчастою (ковкий чавун) або кулястою (так званий "високоміцний чавун"; рис. 1.4).



а – пластинчастий; б – пластивчастий; в - кулястий  
(збільшення –  $\times 100$ )

Рисунок 1.4 – Графіт у чавуні

Останнім часом у машинобудуванні застосовують чавун з вермікулярною формою графіту, проміжною між пластівчастою і кулястою.

Включення графіту, порушуючи суцільність металеві матриці та стаючи концентраторами напружень, негативно впливають на механічні властивості чавуну. У табл. 1.1 наведено усереднені механічні властивості сталі 45Л, яка має ферито-перлітну структуру, та чавунів з приблизно такою ж структурою металеві матриці і різною формою графітових включень. Аналіз наведених даних показує, що механічні властивості чавуну у найменшому ступені знижує графіт кулястої форми, у найбільшому – пластівчастої.

### 1.1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується хімічного складу, структури та властивостей залізвуглецевих сплавів.

#### 1.1.4 Контрольні запитання

1. Як і з якої метою проводять аналіз макроструктури металів?
2. Назвіть головні види зламів.
3. Як і з якою метою виконують аналіз мікроструктури металів?
4. Назвіть основні структурні складники залізвуглецевих сплавів.

5. Яку форму має графіт у виливках з різних видів чавунів?
6. Як впливає форма графіту на механічні властивості чавунів?

Таблиця 1.1 – Порівняльні властивості сталі 45Л і чавунів (структура сталі та металевої матриці чавунів: ферит і перліт)

Сплав	Форма графіту	Границя міцності $\sigma_b$ , МПа	Відносне видовження $\delta$ , %
Сталь 45 Л	графіт відсутній	620	15
Чавун з кулястим графітом	куляста	550	12
Ковкий чавун	пластівчаста	400	10
Чавун з вермікулярним графітом	вермікулярна	250	1,5
Сірий чавун	пластинчаста	150	0,2

### 1.1.5 Обладнання, матеріали

1. Оптичні мікроскопи
2. Зразки зламів: в'язкого, крихкого, змішаного та від втоми
3. Зразки (деталі) з усадковою раковиною, пористістю, тріщинами та іншими дефектами
4. Макрошліфи литої та деформованої сталі
5. Мікрошліфи сталей Ст3, 20, У8, У12 та чавунів з різною формою графітових включень

### 1.1.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед включенням оптичних мікроскопів впевнитися у безпечності приєднувальних дротів.
2. Налаштування мікроскопів проводити під наглядом викладача або навчального майстра.

### 1.1.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити зовнішні дефекти на зразках (деталях), структуру різних видів зламів, набути навичок їх класифікації, вивчити темплети литої і деформованої сталі.
2. Вивчити структурні складники сталей та чавунів, а також дефекти, які виявляються методом мікроаналізу. Проаналізувати

вплив вуглецю на кількість та співвідношення структурних складників сталей.

3. Орієнтовно визначити параметр форми графіту (відношення максимального розміру до мінімального) у зразках чавунів різного типу; оцінити залежність границі міцності та відносного видовження від параметра форми графіту, використовуючи дані табл. 1.1.

4. Зробити висновок про вплив форми графіту на міцність та пластичність чавунів.

### 1.1.8 Зміст звіту

1. Дати визначення макроаналізу; описати, що можна визначити при макроаналізі зовнішнього вигляду деталей, зламів і темплетів.

2. Дати визначення мікроаналізу; описати, що можна визначити при мікроаналізі шліфів сталей і чавунів.

3. Навести структури доевтектоїдної, евтектоїдної та заевтектоїдної сталей, а також чавунів з різною формою графіту.

4. Зробити висновки про вплив вуглецю на співвідношення структурних складників сталей та форми графіту в чавунах, а також про вплив форми графіту у чавунах на їх міцність і пластичність.

## Лабораторна робота № 1.2

### 1.2 Визначення міцності і пластичності сталей

#### 1.2.1 Мета роботи

Набути практичних навичок техніки випробування металів на розтяг; навчитися визначати показники міцності та пластичності за діаграмою розтягу та результатами вимірювання зразків; за результатами випробувань побудувати та проаналізувати залежність показників міцності та пластичності від вмісту в сталі вуглецю.

#### 1.2.2 Загальні відомості

**Міцність** – це властивість матеріалу опиратися деформуванню та руйнуванню під впливом зовнішніх навантажень. **Пластичність** – властивість матеріалу незворотно деформуватися без порушення суцільності під дією зовнішніх механічних навантажень або залишкових напружень. Показники (кількісні характеристики)

міцності і пластичності визначають при випробуванні зразків на розтяг. Випробування проводять на розривних випробувальних машинах. Для випробувань на розтяг застосовують циліндричні або плоскі зразки діаметром (товщиною) від 3 мм і більше і початковою розрахунковою довжиною  $\ell_0 = 5,65 \sqrt{F_0}$  (де  $F_0$  - площа поперечного перерізу зразка до деформування).

При розтягуванні зразка записуючий прилад випробувальної машини креслить діаграму розтягу, яка відбиває залежність видовження зразка  $\Delta \ell$  від діючого навантаження  $P$ . Навантаження у певні моменти розтягування можна визначити або за допомогою тензометрів або графічно за діаграмою розтягу (рис. 1.5, а), на якій наведені характерні точки, що відповідають певним показникам механічних властивостей.

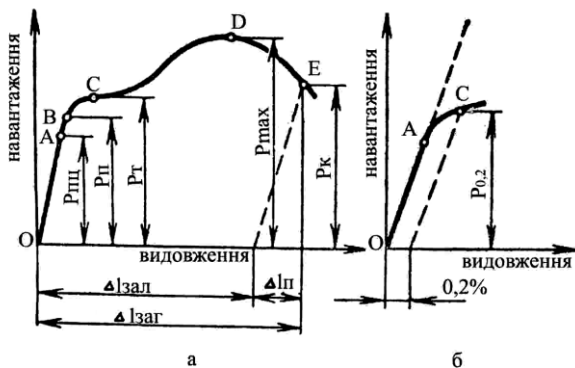


Рисунок 1.5 – Діаграма розтягу зразка з пластичного металу (а); схема визначення умовної границі плинності малопластичних сталей (б)

Як *показники міцності* визначають: границі пропорційності, пружності, плинності (фізичну або умовну), міцності (тимчасовий опір) та істинний опір розриванню

На діаграмі від початку деформування (точка O) до точки A зразок деформується пружно, пропорційно прикладеному навантаженню. Лінія OA діаграми і її кут нахилу характеризують пружні властивості металу. Тому при розвантаженні зразка у будь-який момент розтягування (наприклад, точки E, рис. 1.5 а, та C, рис.

1.5 б) його загальне видовження  $\Delta \ell_{\text{заг}}$  зменшується на величину пружної деформації  $\Delta \ell_{\text{п}}$ , а довжина зразка стає більшою на величину залишкового видовження  $\Delta \ell_{\text{зал}}$ .

Точка А є граничною, до якої зберігається прямолінійна (пружна) залежність між прикладеним навантаженням і видовженням зразка, і відповідає **границі пропорційності**. Границя пропорційності  $\sigma_{\text{пц}}$ , МПа, визначається за формулою:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad (1.1)$$

де  $P_{\text{пц}}$  – навантаження, вище якого порушується лінійна залежність між навантаженням та видовженням зразка, Н;  $F_0$  – початкова площа поперечного перерізу зразка, м<sup>2</sup>.

При більших навантаженнях пропорційність дещо порушується, проте зразок, як і раніше, деформується пружно. Прийнято, що пружна деформація закінчується, коли навантаження перевищує величину  $P_{\text{п}}$ , яка викликає залишкове видовження зразка понад 0,05% його початкової довжини  $\ell_0$  (точка В діаграми). **Границя пружності**  $\sigma_{\text{п}}$ , МПа, у такому випадку визначається як

$$\sigma_{\text{п}} = \frac{P_{\text{п}}}{F_0}. \quad (1.2)$$

При подальшому збільшенні навантаження криволінійна частина діаграми розтягу може перейти у горизонтальну – так звану **площадку плинності** (ділянка С, рис. 1.5 а). Це свідчить про те, що метал починає деформуватися пластично, «плине» без помітного збільшення навантаження. За найменшим навантаженням  $P_{\text{т}}$ , яке викликає плин металу, визначають **фізичну границю плинності**,  $\sigma_{\text{т}}$ , МПа:

$$\sigma_{\text{т}} = \frac{P_{\text{т}}}{F_0}. \quad (1.3)$$

При випробуваннях малопластичних сталей площадка плинності відсутня. У цьому випадку за допомогою лінії, паралельної ділянці пружної деформації ОА (рис. 1.5, б), визначають навантаження  $P_{0,2}$ , при

якому залишкове видовження зразка  $\Delta \ell_{зал}$  становить 0,2% початкової довжини його робочої частини  $\ell_0$ . Навантаження  $P_{0,2}$  визначає *умовну границю плинності*,  $\sigma_{0,2}$ , МПа:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}. \quad (1.4)$$

Напруження, яке відповідає найбільшому навантаженню  $P_{max}$  (точка D, рис. 1.5, а), що передує розірванню зразка, називають *границею міцності*  $\sigma_B$ , МПа, і визначають за формулою:

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0}. \quad (1.5)$$

Саме це напруження використовується для більшості розрахунків деталей машин на міцність.

Якщо зразок розтягувати й далі, на відтинку діаграми DE (рис. 1.5, а) навантаження знижується, а діюче напруження збільшується. Це пов'язане з утворенням у зразку місцевого звуження поперечного перерізу (шийки, рис. 1.6).

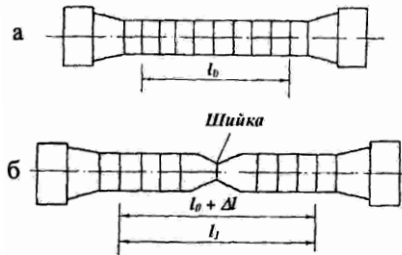


Рисунок 1.6 – Схема зразків до (а) і після (б) випробування на розтяг

Фактичне максимальне напруження під час руйнування зразка – *істинний опір розірванню*  $S_K$ , МПа:

$$S_K = \frac{P_K}{F_{ш}}, \quad (1.6)$$

де  $P_K$  – навантаження в момент руйнування зразка, Н;  $F_{ш}$  – площа

мінімального поперечного перерізу зразка після розірвання, м<sup>2</sup>.

За результатами обмірів розірваних зразків до та після випробувань визначають *показники пластичності*:

**відносне видовження**

$$\delta = (\ell_1 - \ell_0) \cdot 100\% / \ell_0, \quad (1.7)$$

**відносне звуження**

$$\psi = (F_0 - F_u) \cdot 100\% / F_0, \quad (1.8)$$

де  $\ell_0$  та  $\ell_1$  - відповідно початкова та кінцева довжина зразка.

### 1.2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується методів визначення міцності та пластичності сталей, а також впливу на них вмісту вуглецю.

### 1.2.4 Контрольні запитання

1. Які показники механічних властивостей визначаються під час випробувань на розтяг?
2. Дайте визначення границь пропорційності, пружності, міцності, а також істинного опору розірванню.
3. Як визначають фізичну та умовну границі плинності?
4. Яку властивість сталі характеризує відносне видовження (звуження)?
5. Як впливає вміст вуглецю на міцність та пластичність сталі?

### 1.2.5 Обладнання, інструменти, матеріали

1. Розривна випробувальна машина
2. Штангенциркулі
3. Мікрометри
4. Розривні зразки зі сталей Ст3, 20, 40, 60, У8, У10, У12 у нормалізованому стані

### 1.2.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Встановлювати зразки у затискачі розривної машини при

вимкненому механізмі розтягу.

2. Під час випробування не допускається торкатися руками рухомих частин розривної машини.

### 1.2.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити будову та принцип роботи розривної машини.

2. Визначити початкові розміри зразків з різних видів сталей:  $d_0$ ,  $\ell_0$ .

3. Провести випробування зразків на розтяг, зафіксувати максимальне навантаження перед розірванням  $P_{\max}$  і визначити розміри зразків після розірвання:  $d_{\text{ш}}$  і  $\ell_1$ .

4. Для кожної марки сталі розрахувати показник міцності – границю міцності  $\sigma_b$  та показники пластичності – відносне видовження  $\delta$  і відносне звуження  $\psi$ . Результати випробувань записати у протокол випробувань (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Протокол випробувань на розтяг

Розміри зразка, мм						Максимальне навантаження, Н	Механічні властивості		
до випробування			після випробування				границя міцності, МПа	відносне видовження, %	відносне звуження, %
$\ell_0$	$d_0$	$F_0$	$\ell_1$	$d_{\text{ш}}$	$F_{\text{ш}}$	$P_{\max}$	$\sigma_b$	$\delta$	$\psi$

5. Побудувати графічні залежності міцності і пластичності сталей від вмісту вуглецю.

Зробити висновки про вплив вуглецю на міцність і пластичність сталей.

### 1.2.8 Зміст звіту

1. Дати визначення міцності і пластичності конструкційних матеріалів.

2. Навести ескізи зразків до та після випробувань із зазначенням вимірюваних розмірів.

3. Навести діаграму розтягу пластичної сталі із зазначенням на ній характерних точок.



4. Навести розрахункові формули для визначення показників міцності і пластичності. Результати розрахунків навести у табл. 1.2.

5. Побудувати графіки залежності міцності і пластичності сталі від вмісту вуглецю; зробити висновки по роботі.

## Лабораторна робота № 1.3

### 1.3 Визначення твердості металів і сплавів

#### 1.3.1 Мета роботи

Набути практичних навичок у визначенні твердості за методами Брінелля, Віккерса, і Роквелла; вивчити вплив вмісту вуглецю на твердість сталі; проаналізувати залежність між твердістю та границею міцності для нормалізованої сталі.

#### 1.3.2 Загальні відомості

**Твердість** - це властивість поверхневого шару матеріалу опиратися деформуванню або руйнуванню при місцевому контактному впливі з боку твердішого тіла (індентора) певної форми та розмірів, яке не зазнає залишкової деформації. Вимірювання твердості є найпоширенішим методом механічних випробувань. До основних методів визначення твердості відносять методи: Брінелля, Віккерса та Роквелла. Для багатьох сплавів існує чітка залежність між твердістю та експлуатаційними характеристиками (міцністю, зносостійкістю, оброблюваністю різанням або тиском та іншими).

**Метод Брінелля** полягає у тому, що кульку зі сталі або з твердого сплаву діаметром  $D$  втискають у поверхню деталі зусиллям  $P$  і дають певну витримку (рис. 1.7, а).

На поверхні утворюється сферичний відбиток (лунка). Її діаметр вимірюють за допомогою мікроскопа (лупи Брінелля), на окуляр якого нанесено вимірвальну шкалу.

При випробуваннях використовується кулька діаметром 1, 2, 2,5, 5 або 10 мм. Час витримки становить 10...15 с для чорних металів і 10...180 с для кольорових. Навантаження обирається за спеціальними таблицями залежно від діаметра кульки та очікуваної твердості.

Чим більше навантаження, тим більше відбиток і вище точність вимірювання. Але одночасно більше глибина відбитка і більше псується поверхня деталі. Тому діаметр кульки і навантаження

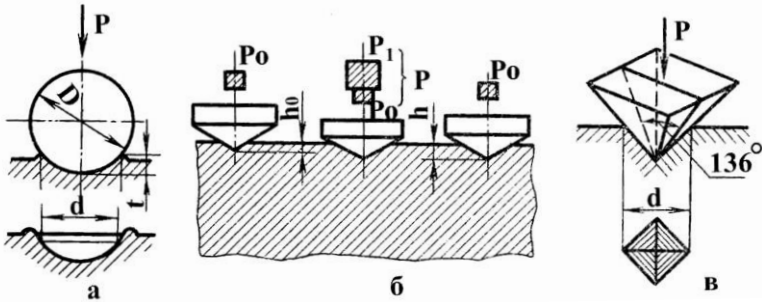


Рисунок 1.7 – Визначення твердості металу методами Брінелля (а), Роквелла (б) та Віккерса (в)

обирають так, щоб діаметр відбитка знаходився у межах  $(0,25...0,60)D$ . Найменше навантаження для кульки діаметром 1 мм становить 10 Н, найбільше для кульки діаметром 10 мм – 30 кН.

Число твердості за Брінеллем  $HB$  визначають відношенням прикладеного навантаження  $P$ , Н, до площі сферичного відбитка  $F$ ,  $\text{мм}^2$ :

$$HB = \frac{0,102P}{F} = \frac{0,102 \cdot 2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.9)$$

Щоб не вдаватися до тривалих і трудомістких розрахунків, на практиці для визначення твердості залежно від  $P$ ,  $D$ , і  $d$  використовують стандартні таблиці.

Перевагою методу Брінелля є простота вимірювань і точність результатів. Крім того, між твердістю (в одиницях Брінелля) і границею міцності (у МПа) для деяких пластичних металів і сплавів існує залежність типу

$$\sigma_B = k(HB), \quad (1.10)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який дорівнює: 3,5 - для сталі та дюралюмінію; 5,5 - для міді та її сплавів у відпаленому стані, 4 - для міді та її сплавів після наклепу тощо.

До недоліків методу Брінелля відносять: обмеження щодо вимірюваної твердості (до 450 НВ для сталеві кульки і до 650 НВW для кульки з твердого сплаву); неможливість випробувань тонких виробів або покриттів (їх товщина повинна бути принаймні у 10 разів більше глибини відбитка, тобто не менше 1...3 мм); великий розмір відбитка (2...6 мм), що залишається на поверхні деталі.

**Метод Віккерса** у головних рисах наслідує метод Брінелля: індентор втискається в метал під певним навантаженням, вимірюється розмір відбитка і розраховується величина твердості (рис.1.7, в). Але завдяки матеріалу індентора (алмаз) і меншим навантаженням він позбавлений більшості недоліків метода Брінелля.

Індентором служить *алмазна чотиригранна піраміда* з кутом між протилежними гранями при вершині  $\alpha = 136^\circ$ . Залежно від товщини зразків або поверхневих шарів, твердість яких вимірюється, а також від їх очікуваної твердості до індентора може прикладатися навантаження  $P$  від 10 до 1000 Н, і відбиток на поверхні залишається малий. За методом Віккерса можна визначати твердість зразків (деталей) мінімальною товщиною 0,03...0,05 мм з будь-яких матеріалів.

Твердість за Віккерсом визначається як відношення навантаження  $P$ , Н, прикладеного до алмазної піраміди, до площі її пірамідального відбитка  $F$ , мм<sup>2</sup>:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{0,102 \cdot 2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,189 \frac{P}{d^2}, \quad (1.11)$$

де  $d$  – середнє арифметичне значення довжини обох діагоналей відбитка після зняття навантаження, мм.

На практиці твердість за Віккерсом залежно від  $P$  і  $d$  також визначають, користуючись стандартними таблицями. Значення твердості, визначені за методами Брінелля та Віккерса, до 450 одиниць практично збігаються

Твердість за *методом Роквелла* визначають втисканням у зразок (деталь) індентора - *алмазного конуса* з кутом при вершині  $120^\circ$  та радіусом заокруглення 0,2 мм або *сталеві кульки* діаметром 1,588 мм (1/16"). Навантаження на індентор прикладається послідовно: спочатку попереднє навантаження  $P_0$  у 100Н, а потім – основне  $P_1$

(рис.1.7, б). Сумарне навантаження  $P=P_0+P_1$  обирається залежно від застосованого індентора та очікуваної твердості зразка, який досліджується (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Умови визначення твердості за Роквеллом

Шкала Роквелла	Тип індентора	Сумарне навантаження, Р,Н	Допустимі границі вимірювань твердості за Роквеллом	Приблизна твердість за Віккерсом
А	алмазний конус	600	70...85 HRA	300...900
В	сталева кулька	1000	25...100 HRB	60...240
С	алмазний конус	1500	20...67 HRC	240...900

Твердість за Роквеллом визнають безпосередньо за індикатором твердоміра у поділках його шкали. При цьому вирішальною є величина  $e = (h - h_0)/c$ , де  $h$  і  $h_0$  - глибина проникнення індентора, мм (рис. 1.7, б), при прикладенні відповідно повного та попереднього навантажень, а величина  $c = 0,002$  мм відповідає переміщенню стрілки індикатора твердоміра на одну поділку шкали.

При користуванні алмазним індентором із загальним навантаженням 1500 або 600 Н твердість визначається за **чорною шкалою** (С або А) індикатора твердоміра, позначається відповідно HRC та HRA і автоматично підраховується за формулою:

$$HRC (HRA) = 100 - e. \quad (1.12)$$

При користуванні індентором – сталеву кулькою із загальними навантаженням 1000 Н твердість визначається за **червоною шкалою** (В), зміщеною відносно нульового положення чорної шкали на 30 поділок, і автоматично розраховується за формулою:

$$HRB = 130 - e. \quad (1.13)$$

Таким чином, висновок про твердість матеріалу за методом Роквелла роблять за різницею глибин проникнення індентора під дією послідовно прикладених навантажень  $P_0$  і  $P_1$ . При цьому стрілка індикатора вказує не різницю глибин, а зразу фактичне значення твердості (по чорній або червоній шкалі відповідно). Вимірювання твердості по шкалі А застосовується для крихких матеріалів з високою твердістю; по шкалі В – для м'яких матеріалів; по шкалі С – для твердих, але пластичних матеріалів. Необхідно пам'ятати, що числа твердості за Роквеллом, визначені за різними шкалами, не дорівнюють одне одному.

На рис. 1.8 наведені дані, які показують співвідношення між значеннями твердості, визначеними різними методами. За еталон порівняння прийнято шкалу твердості за Віккерсом

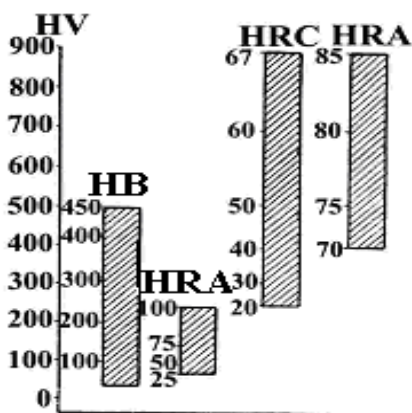


Рисунок 1.8 – Співвідношення між твердістю, визначеною за методами Віккерса, Брінелля і Роквелла

### 1.3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується методів визначення твердості сталей, а також впливу на них вмісту вуглецю.

### 1.3.4 Контрольні запитання

1. Що таке твердість ?
2. Назвіть основні методи визначення твердості; зазначте переваги та недоліки кожного з них.

3. Як вимірюється твердість на твердомірах Брінелля, Віккерса та Роквелла?

4. Які індентори та які навантаження застосовуються при вимірюванні твердості різних металів за методами Брінелля, Віккерса та Роквелла?

5. Як впливає вміст вуглецю на твердість сталі у нормалізованому стані?

### 1.3.5 Обладнання

1. Твердоміри Брінелля, Віккерса, Роквелла
2. Лупа Брінелля
3. Зразки зі сталей Ст3, 20, 40, 60, У8, У10, У12, у нормалізованому стані

### 1.3.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Зразки на стіл твердомірів встановлювати при вимкненому обладнанні.
2. Під час вимірювання твердості прибрати руки з зони руху індентора.

### 1.3.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити будову і роботу твердомірів Брінелля, Віккерса і Роквелла; освоїти техніку вимірювання твердості на цих твердомірах.
2. Визначити твердість різних сталей. Результати вимірювань занести у табл. 1.4 і порівняти значення твердості, виміряні за методами Віккерса і Брінелля.

Таблиця 1.4 – Протокол вимірювань твердості нормалізованих сталей

№№ п.п.	Матеріал	Метод вимірювання твердості	Індентор	Навантаження, Н	Шкала	Результат вимірювання

3. За отриманою методом Брінелля твердістю розрахунком визначити границі міцності сталей і порівняти зі значеннями границь міцності тих же сталей, отриманими при виконанні лабораторної роботи №1.2.

4. Аналізуючи отримані дані, зробити висновок про залежність твердості сталі у нормалізованому стані від вмісту вуглецю.

### **1.3.8 Зміст звіту**

1. Дати визначення твердості конструкційних матеріалів.
2. Коротко описати техніку вимірювання твердості за методами Брінелля, Віккерса та Роквелла. Навести схему вимірювання твердості одним з вище згаданих методів.
3. Навести табл. 1.4 з результатами проведених експериментів.
4. За результатами експериментів зробити висновок про залежність твердості нормалізованої сталі від вмісту в ній вуглецю.

## **Лабораторна робота № 1.4**

### **1.4 Визначення ударної в'язкості металів**

#### **1.4.1 Мета роботи**

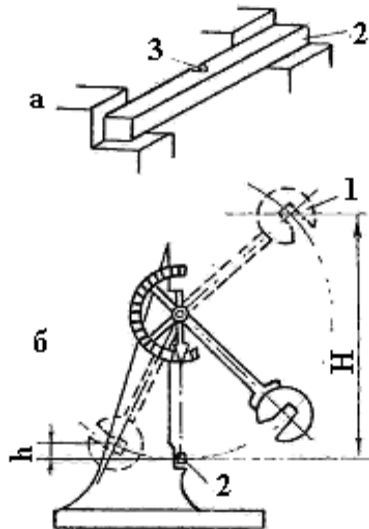
Вивчити будову і роботу маятникового копра та освоїти методику визначення ударної в'язкості; дослідити вплив вмісту вуглецю на ударну в'язкість вуглецевих сталей.

#### **1.4.2 Загальні відомості**

В умовах експлуатації багато деталей і конструкцій можуть крихко руйнуватися під дією ударних навантажень. При цьому схильність металів до крихкого руйнування зростає при збільшенні швидкості прикладання навантаження, розмірів зерен у структурі металу, зниженні температури, наявності концентраторів напружень (надрізів, тріщин, подряпин і т.п.), підвищенні в сталі вмісту вуглецю, а також шкідливих домішок (фосфору, сірки, кисню, азоту). Опір металів крихкому руйнуванню при ударних навантаженнях визначається динамічними випробуваннями на ударні згин, розтяг, стиск, крутіння та ін.

Найбільшого поширення набули динамічні випробування на ударний згин зразків з надрізом-концентратором напружень (випробування на ударну в'язкість). **Ударна в'язкість** – характеристика металу, яка оцінюється роботою, витраченою на деформування і руйнування зразка, і визначається як відношення роботи удару до первинної площі поперечного перерізу зразка у місці

концентратора (рис.1.9.). Удар маятником наноситься з боку, протилежного концентратору, у площині його симетрії.



а - положення зразка під час випробування; б – схема маятнікового копра;  
 1 – маятник; 2 – зразок; 3 – концентратор  
 Рисунок 1.9 – Випробування на ударний згин

Залежно від мети випробувань концентратори можуть мати різні форми (рис. 1.10), які позначаються буквами U, V і T. U– та V–подібні концентратори виготовляють спеціальним інструментом, який має відповідний профіль. Концентратор виду T (втомну тріщину) отримують у вершині початкового надрізу при циклічному згинанні зразка в одній площині. U–подібні концентратори використовуються при звичайних приймально–здавальних випробуваннях, V–подібні - при приймально–здавальних випробуваннях металів і сплавів для конструкцій підвищеного ступеня надійності (літальні апарати, транспортні засоби і т.п.). Концентратори типу T використовуються при виборі металів і сплавів для особливо відповідальних конструкцій, для яких оцінка опору розвитку тріщини є особливо важлива.



У вихідному (верхньому) положенні маятник копра вагою  $P$ ,  $H$ , піднятий на висоту  $H$ , м (рис. 1.9), має потенційну енергію  $P \cdot H$ , Дж. Рухаючись вниз, маятник руйнує зразок, витративши на це певну частину енергії. Проте у нього ще залишається енергія  $P \cdot h$  для підйому

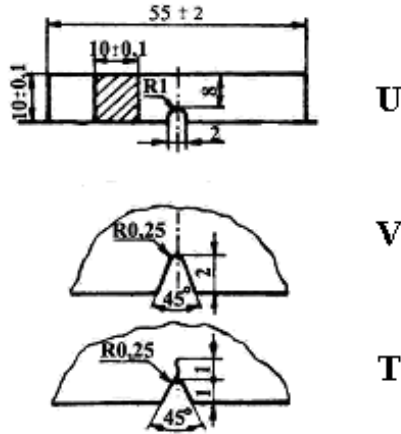


Рисунок 1.10 – Види концентраторів у зразках для випробувань на ударний згин

маятника на висоту  $h$ , м. Тому роботу, яка поглинається при руйнуванні (роботу удару, Дж), можна визначити за формулою:

$$K = P (H - h). \quad (1.14)$$

Звичайно робота удару позначається  $K_U$ ,  $K_V$  або  $K_T$ , де друга буква вказує на вид концентратора. У більшості випадків роботу удару визначають безпосередньо по шкалі маятникового копра.

Ударну в'язкість позначають буквами  $K_C$  і буквою, яка відповідає виду концентратора:  $K_{CU}$ ,  $K_{CV}$  або  $K_{CT}$ . Її величину (Дж/см<sup>2</sup>) розраховують за формулою:

$$K_{CU} = K_U / S_0, \quad (1.15)$$

де  $S_0$  – початкова площа поперечного перерізу зразка у місці концентратора, см<sup>2</sup>.

### **1.4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується методики визначення ударної вязкості, а також впливу на неї вмісту вуглецю.

### **1.4.4 Контрольні запитання**

1. Що таке ударна в'язкість?
2. Які зразки використовуються для визначення ударної в'язкості?
3. Як залежить величина ударної в'язкості від форми концентратора?
4. Які хімічні елементи, що входять у склад сталі, можуть знизити ударну в'язкість?
5. В яких умовах експлуатації важливо знати ударну в'язкість матеріалу виробу?

### **1.4.5 Обладнання, інструменти, матеріали**

1. Маятниковий копер
2. Шаблон для встановлення ударного зразка на копрі
3. Штангенциркуль
4. Ударні зразки з U-подібним концентратором зі сталей Ст3, 20, 40, 60, У8, У10, У12 у нормалізованому стані

### **1.4.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Впевнитися, що після підйому маятника у вихідне положення рухомі частини копра закриті захисними сітками.
2. Зразок встановлювати на копер лише за допомогою спеціального важеля з шаблоном.
3. Перед вмиканням копра впевнитися, що в зоні руху маятника нема зайвих предметів.

### **1.4.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Вивчити будову маятникового копра та методику визначення ударної в'язкості.
2. Виміряти розміри поперечного перерізу зразків, які підлягають випробуванням.
3. Провести випробування зразків на ударний згин.

4 Для кожної марки сталі за результатами трьох випробувань визначити середнє значення ударної в'язкості; результати випробувань занести у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Протокол випробувань на ударну в'язкість

№№ п. п.	Марка сталі	Початкова площа поперечного перерізу $S_0$ , $\text{см}^2$	Робота удару, $K_U$ , Дж	Ударна в'язкість, $K_{CU}$ , Дж/см <sup>2</sup>

5. За результатами випробувань зробити висновок про вплив вмісту вуглецю на опір руйнуванню при ударному навантаженні.

#### 1.4.8 Зміст звіту

1. Дати визначення ударної в'язкості.
2. Коротко описати техніку випробувань на ударну в'язкість; навести креслення зразка та схему випробувань.
3. Навести протокол проведених випробувань.
4. За результатами випробувань зробити висновок про вплив вмісту вуглецю на ударну в'язкість сталі у нормалізованому стані.

## 2 ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

### Лабораторна робота № 2.1

#### 2.1 Лиття в піщані форми

##### 2.1.1 Мета роботи

Вивчити процес виготовлення виливків литтям в піщані форми; оцінити якість отриманих виливків та коефіцієнт використання матеріалу  $K_{\text{вм}}$ .

##### 2.1.2 Загальні відомості

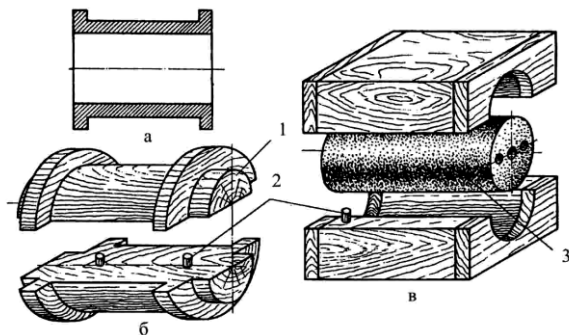
*Ливарне виробництво* – це процес виготовлення готових виробів або заготовок (*виливків*) з металів та інших матеріалів шляхом заливання розплавлених металів (матеріалів) у ливарну форму. Це одна з основних заготівельних баз сучасного машинобудування. Продукцією ливарного виробництва є, як правило, складні фасонні виливки.

Близько 80% усіх виливків виготовляють литтям у піщані форми, тобто у форми, які виготовляють з піщано-глинястих сумішей. Для видалення готового виливка така форма руйнується. Широке застосування цього методу пояснюється його простотою та універсальністю; тим, що він дозволяє виготовляти як дрібні, так і дуже великі виливки простої і складної конфігурації практично з будь-яких ливарних сплавів.

Для виготовлення разових піщаних форм використовують модельно-опочне оснащення і формові матеріали.

*Модельно-опочний комплект* (рис. 2.1) складається з моделі майбутнього виливка, стрижневого ящика, якщо виливок має отвори і порожнини та опок – рамок, у яких здійснюють формування.

Модель визначає *зовнішню* конфігурацію виливка. Розміри моделі перевищують розміри виливка на величину усадки. Для полегшення процесу формування та виймання з форми моделі роблять рознімними з так званими формувальними нахилами на поверхнях, перпендикулярних площині розніму. На відміну від виливка модель замість отвору має виступи - стрижневі знаки. Ці знаки дають відбиток у формі, на який встановлюють стрижень, виготовлений у стрижневому ящику.



а – креслення вилівка; б – модель; в – стрижньовий ящик зі стрижнем  
 1. - стрижньовий знак; 2 – центрувальні шипи; 3 – стрижень  
 Рисунок 2.1 – Вилівок і модельно-опочний комплект

При ручному формуванні застосовують дерев'яні моделі, при машинному - металеві. В останньому випадку на металеву модельну плиту монтують півмоделі вилівка і моделі елементів литникової системи, виготовлені з алюмінієвих сплавів або сталі.

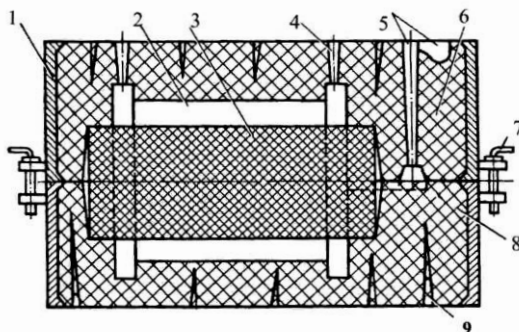
Стрижні, які визначають *внутрішню* конфігурацію вилівка, виготовляють у стрижневих ящиках. Останні виготовляються дерев'яними або металевими. Стрижні утворюють у вилівках порожнини або отвори і мають додаткові виступи, які за формою і розмірами співпадають зі стрижневими знаками відповідних моделей.

До **формових матеріалів** відносять формові та стрижневі суміші, основною яких є пісок як вогнетривка основа і зволожена глина як зв'язувальна речовина. У формову суміш для здешевлення додають так звану оборотну суміш (тобто таку, що вже була вживаною). Стрижневу суміш виготовляють лише зі свіжих формових матеріалів. Для підвищення міцності у її склад можуть вводити сульфітно-спиртову барду, рідке скло, олійні зміцнювачі та інше, а для покращення піддатливості - деревну тирсу, соломку або торф.

**Ручне формування** у двох опоках за рознімною моделлю є найпоширенішим. У цьому випадку на підмодельну дошку у нижню опоку укладають нижню половину моделі рознімом вниз. Опоку наповнюють спочатку облицювальною, а потім наповнювальною сумішшю та ущільнюють. Після цього відформовану опоку перевертають на 180°, і на нижню половину моделі встановлюють верхню. Потім ставлять верхню опоку, моделі литникової системи та

аналогічним способом ущільнюють суміш у верхній опоці. Після цього верхню опоку знімають та виймають всі елементи і види моделей.

Перед заливанням металу проводять складання ливарної форми: у нижню опоку встановлюють необхідні стрижні і накривають верхньою опокою (рис. 2.2). У разі необхідності, щоб верхня опока не спілила під дією залитого металу, на неї накладають вантаж або опоки з'єднують струбцинами.



1 – опока; 2 – порожнина форми; 3 – стрижень; 4 – випор;  
5 – литникова система; 6 – верхня півформа; 7 – центрувальні штирі; 8 – нижня півформа; 9 – вентиляційні канали

Рисунок 2.2 – Складена ливарна форма

Ручне формування застосовують в одиничному та дрібно-серійному виробництвах, тому що воно має низьку продуктивність, вимагає досить великих витрат важкої ручної праці.

Основні недоліки лиття у піщані форми: висока шорсткість поверхні, порівняно низька точність і відтворюваність розмірів виливків.

### 2.1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується лиття в піщані форми.

2. Розплавити метал і нагріти його до температури заливання.

3. Підготувати до формування модельно-опочний комплект і формові матеріали.

#### **2.1.4 Контрольні запитання**

1. Що таке ливарне виробництво?
2. Що входить до складу модельно-опочного комплексу?
3. Яке призначення моделі і чим вона відрізняється від готового виливка?
4. Яке призначення ливарного стрижня?
5. З чого складаються формові та стрижневі суміші?
6. Яка область застосування лиття у піщані форми?

#### **2.1.5 Обладнання, інструменти, матеріали**

1. Тигельна піч
2. Заливний ківш
3. Стрижневий ящик
4. Опочки парні, комплект
5. Моделі елементів литникової системи
6. Формувальний інструмент
7. Формова суміш
8. Сплав цинковий ЦАМ 10-4
9. Деталь, виготовлена з виливка
10. Набір еталонів шорсткості поверхонь литих деталей
11. Вага технічна
12. Штангенциркуль

#### **2.1.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Переносити заливний ківш лише у рукавицях.
2. Підготовлені до заливання ливарні форми розташувати на пожежобезпечній основі.
3. Під час заливання металу у форми попереджати витікання металу з форм.

#### **2.1.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з модельно-опочним комплектом, формувальним інструментом, а також з видами і складом сумішей.
2. Ручним формуванням виготовити і скласти 3..6 ливарних форм.
3. Провести заливання форм.

4. Після охолодження вибити виливки з форм і оглянути їх; впевнитися у відсутності ливарних дефектів. За допомогою еталонів оцінити шорсткість поверхні виливків.

5. Виміряти основні розміри виливка (заготовки)  $d_3$  і деталі – еталона, виготовленої з виливка,  $d_d$ . Визначити припуск  $z_0$  на механічне оброблення отриманої заготовки:

$$z_0 = (d_3 - d_d) / 2. \quad (2.1)$$

6. Зважуванням визначити масу деталі  $M_d$  та матеріалу, витраченого на виготовлення виливка,  $M_{в.м.}$  і розрахувати коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = M_d / M_{в.м.} \quad (2.2)$$

### 2.1.8. Зміст звіту

1. Коротко описати етапи виготовлення ливарної форми. Накреслити складену ливарну форму, зазначити її елементи.
2. Навести дані про шорсткість поверхні отриманих виливків.
3. На підставі вимірювання основного розміру 3...6 виливків  $d_3$  визначити розкид розмірів

$$\Delta = d_{3 \max} - d_{3 \min} \quad (2.3)$$

і оцінити точність розмірів виливків.

4. Навести розрахунок припусків на механічне оброблення  $z_0$  та коефіцієнта використання матеріалу  $K_{в.м.}$  отриманих виливків.

5. Зробити висновок про якість виливків, виготовлених литтям у піщані форми.

## Лабораторна робота № 2.2

### 2.2 Лиття в оболонкові форми

#### 2.2.1 Мета роботи

Вивчити процес лиття в оболонкові форми; оцінити якість виливків і коефіцієнт використання матеріалу при литті в оболонкові форми.



### 2.2.2 Загальні відомості

При виготовленні оболонкових форм використовують лише металеві моделі та стрижньові ящики.

Формова суміш складається з дрібнозернистого піску (вогнетривка основа) і пульвербакеліту, тобто порошкової фенолформальдегідної смоли (зв'язувальна речовина, 4...10% об.).

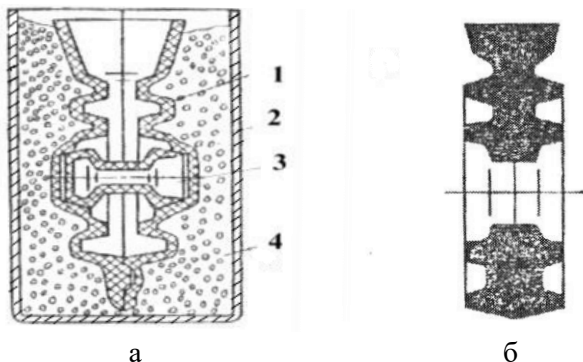
Виготовлення оболонкової форми полягає у тому, що формову суміш насипають на модельну плиту, підігріту до 200...250°C, і витримують 25...30 с. Під дією тепла моделі пульвербакеліт розтоплюється та зв'язує зерна піску, внаслідок чого на моделі утворюється її точний відбиток у вигляді напівтвердої **піщано-смоляної оболонкової півформи** товщиною 5...15 мм. Зайву суміш ссипають у бункер, а модельну плиту разом з оболонкою ставлять у піч з температурою 350...400°C на 1,5...2,0 хв. для твердіння оболонки внаслідок полімеризації смоли.

Таким чином виготовляють обидві оболонкові півформи, а при необхідності й **оболонкові стрижні**, засипаючи піщано-смоляну формову суміш у нагріті металеві стрижневі ящики.

При складанні в оболонкові півформи вставляють стрижень. На краї оболонки наносять шар швидкотвердіючого клею товщиною 0,1...0,2 мм і стискають на 5...10 с до його затвердіння. Готову складену форму (рис. 2.3) встановлюють у металевий ящик. Вільний простір у ящику засипають чавунним дробом або піском без ущільнення лише для того, щоб форма не деформувалася і не руйнувалася під дією гідростатичного тиску залитого металу.

Застосування дрібнозернистого піску у поєднанні з формуванням оболонки на металевій моделі забезпечує низьку шорсткість і високу точність виливків. Низька шорсткість форми дозволяє зменшити поперечний переріз і масу литникової системи внаслідок зниження гідравлічного опору руху металу. Витрати формових матеріалів при литті в оболонкові форми у 5...10 разів нижче, ніж при литті у піщані форми.

Процес лиття легко піддається автоматизації, забезпечує високу продуктивність праці та якість виливків, низькі витрати формових матеріалів. В оболонкових формах виготовляють невеликі та середні виливки з чавуну, сталі, титанових та інших сплавів.



а – ливарна форма; б - виливок;  
 1 – оболонкова форма; 2 – металевий ящик; 3 – оболонковий стрижень; 4 –  
 пісок (дріб)

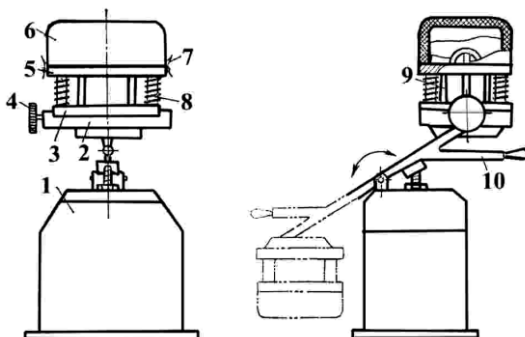
Рисунок 2.3 – Складена оболонкова форма і виливок

Основними недоліками лиття в оболонкові форми є висока вартість формової суміші (головним чином - пульвербакеліту) і обмежена маса виливків (до 80...100 кг), особливо з чавуну і сталі, які мають високу температуру заливання.

*Лабораторна установка для виготовлення оболонкових форм* (рис. 2.4), яка використовується у цій лабораторній роботі, складається з тумби 1, поворотного стола 2, модельної плити і бункера 6 для формової суміші. Металева модельна плита розташована на стояках 8 та відтискається від основи 3 за допомогою чотирьох пружин. По периметру моделі розташовані штовхачі 9 для знімання оболонки з моделі при легкому натисканні на плиту рукою. На бічній поверхні модельної плити розташовані гачки 7 для закріплення бункера. Нагріта модельна плита за допомогою затискного гвинта 4 закріплюється на поворотному столі. Останній може бути поверненим руків'ям 10 так, щоб модельна плита знаходилась над бункером або під ним.

### 2.2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується лиття в оболонкові форми.



- 1 - тумба; 2 – поворотний стіл; 3 - основа; 4 – затискний гвинт;  
 5 – модельна плита; 6 - бункер; 7 - гачки; 8 - стояки;  
 9 - штовхачі; 10 - руків'я повороту стола

Рисунок 2.4 – Лабораторна установка для виготовлення оболонкових форм

2. Розплавити метал і нагріти його до температури заливання.
3. Підготувати до роботи лабораторну установку і формові матеріали.
4. Нагріти модельну плиту до температури 200...250°C і підготувати піч для полімеризації оболонки.

#### 2.2.4 Контрольні запитання

1. У чому суть лиття в оболонкові форми?
2. Який склад має формова суміш для виготовлення оболонкових форм?
3. Назвіть переваги й недоліки лиття в оболонкові форми.
4. Опишіть технологію виготовлення заготовки литтям в оболонкові форми.
5. З чого виготовляють модель (модельну плиту) при литті в оболонкові форми?
6. Навіщо нагрівають моделі під час виготовлення оболонкових форм?

#### 2.2.5 Обладнання, інструменти, матеріали

1. Тигельна піч
2. Заливний ківш

3. Модельна плита
4. Лабораторна установка для виготовлення оболонкових півформ
5. Стрижневий ящик
6. Формова піщано-смоляна суміш
7. Пісок
8. Сплав цинковий ЦАМ10-4
9. Піч опору муфельна
10. Деталь, виготовлена з виливка
11. Набір еталонів шорсткості поверхонь литих деталей
12. Вага технічна
13. Штангенциркуль

#### **2.2.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Перед встановленням модельної плити з оболонкою у муфельну піч необхідно її вимкнути.
2. Переносити гарячу модельну плиту і заливний ківш лише у рукавицях.
3. Підготовлені до заливання ливарні форми розташувати на пожежобезпечній основі.
4. Під час заливання металу у форми попереджати витікання металу з форми.

#### **2.2.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Підігріти модельну плиту з моделлю у муфельній печі до температури 240...260°C, закріпити її на столі лабораторної установки, сформувати на ній оболонкову півформу.
2. Модельну плиту разом з оболонкою помістити у піч опору з температурою 300...350°C на 1...2 хв. для полімеризації зв'язки.
3. Аналогічно виготовити другу оболонкову півформу.
4. Скласти форму, помістити її у металевий ящик, а вільний простір, що залишився, засипати піском.
5. Залити підготовлені ливарні форми металом.
6. Після охолодження вибити виливки з форми і оглянути їх; впевнитися у відсутності ливарних дефектів. За допомогою еталонів оцінити шорсткість поверхні виливків.
7. Визначити припуски на механічне оброблення та коефіцієнт використання матеріалу згідно з п.п. 5, 6 розділу 2.1.7.

### 2.2.8 Зміст звіту

1. Коротко описати етапи виготовлення оболонкової ливарної форми. Накреслити складену ливарну форму, зазначити її елементи.
2. Навести дані про шорсткість поверхні отриманих виливків.
3. На підставі проведених вимірювань навести розрахунки розкиду розмірів  $\Delta$  3...6 виливків, припусків на механічне оброблення  $z_0$  та коефіцієнта використання матеріалу  $K_{в.м}$  відповідно до п.п. 2.1.7 і 2.1.8.
4. Порівняти виливки, виготовлені литтям в оболонкові і у піщані форми, за якістю виливків, припусків на механічне оброблення та за коефіцієнтом використання матеріалу.
5. Зробити висновки на підставі згаданого вище порівняння.

## Лабораторна робота № 2.3

### 2.3 Кокільне лиття

#### 2.3.1 Мета роботи

Вивчити технологію кокільного лиття; оцінити якість виливків і коефіцієнт використання матеріалу; вивчити вплив температури кокілю на якість виливків.

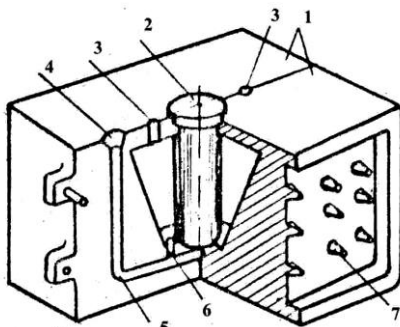
#### 2.3.2 Загальні відомості

**Кокільним литтям** називають процес виготовлення фасонних виливків шляхом заливання рідкого металу у нерухому металеву форму (кокіль) (рис. 2.5).

Особливості виготовлення виливків у кокілях пов'язані з великою швидкістю охолодження, практично повною відсутністю газопроникності і піддатливості форм. Щоб знизити інтенсивність охолодження виливків, металеві форми перед заливанням покривають вогнетривкими облицюванням або фарбами і підігрівають до температури 100...450°C.

Кокільне лиття має низку переваг перед литтям у піщані форми: багаторазове (до кількох десятків тисяч разів) використання форми; дрібнозерниста і щільна структура металу та високі механічні

властивості виливків; менші припуски на механічне оброблення; порівняно висока продуктивність праці і низька собівартість виливків.



1 – півформи кокілью; 2 - стрижень; 3 - випори; 4 – литникова чаша; 5 – стояк; 6 - живильник; 7 – шипи для підвищення тепловіддачі

Рисунок 2.5 – Металева ливарна форма (кокіль)

Кокільне лиття має низку переваг перед литтям у піщані форми: багаторазове (до кількох десятків тисяч разів) використання форми; дрібнозерниста і щільна структура металу та високі механічні властивості виливків; менші припуски на механічне оброблення; порівняно висока продуктивність праці і низька собівартість виливків.

До недоліків кокільного лиття належать: значна собівартість виготовлення кокіль; труднощі з виготовленням виливків складної конфігурації, особливо тонкостінних; можливість виникнення вибілу у чавунних виливках.

### 2.3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується кокільного лиття.

2. Розплавити метал і нагріти його до температури заливання.

3. Підготувати кокілі до заливання.

### 2.3.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть кокільного лиття?

2. Як готують кокіль до заливання металу?

3. Які особливості виготовлення виливків кокільним литтям?

4. В яких випадках застосовують кокільне лиття?

5. Опишіть переваги і недоліки кокільного лиття.

### **2.3.5 Обладнання, інструменти, матеріали**

1. Тигельна піч
2. Заливний ківш
3. Кокілі зі стрижнями
4. Сплав цинковий ЦАМ 10-4
5. Деталь, виготовлена з виливка
6. Набір еталонів шорсткості поверхонь литих деталей
7. Вага технічна
8. Штангенциркуль

### **2.3.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Переносити заливний ківш лише у рукавицях.
2. Підготовлені до заливання ливарні форми розташовувати на пожежобезпечній основі.
3. Під час заливання у кокілі попереджати витікання металу з форми.

### **2.3.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Розплавити метал, нагріти його до температури заливання 420°C.
2. Підготувати кокілі до заливання металу.
3. Залити кокілі підготовленим металом. Після кристалізації та охолодження виливків видалити їх з кокілей.
4. Провести зовнішній огляд виливків, установити наявність зовнішніх ливарних дефектів. Порівнянням з еталонами оцінити шорсткість поверхні виливків.
5. Визначити припуски на механічне оброблення  $z_0$  і коефіцієнт використання матеріалу  $K_{\text{вм}}$  згідно з п.п. 5, 6 розділу 2.1.7.

### **2.3.8 Зміст звіту**

1. Коротко описати суть кокільного лиття, його переваги і недоліки.
2. Навести данні про шорсткість поверхні виготовлених виливків.

3. На підставі проведених вимірювань кокілів навести розрахунки припусків на механічне оброблення  $z_0$  та коефіцієнта використання матеріалу  $K_{в.м}$  відповідно до п.п. 2.1.7. та 2.1.8.

4. Порівняти виливки, виготовлені кокілним литтям і литтям у піщані форми, за якістю поверхні, припусками на механічне оброблення та за коефіцієнтом використання матеріалу.

## Лабораторна робота № 2.4

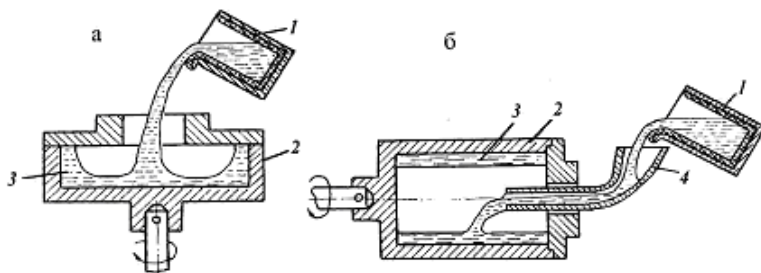
### 2.4 Відцентрове лиття

#### 2.4.1 Мета роботи

Ознайомитися з технологією виробництва заготовок методом відцентрового лиття; вивчити вплив швидкості обертання форми на якість вилівка.

#### 2.4.2 Загальні відомості

**Відцентрове лиття** - це спосіб виробництва вилівки шляхом заливання металу у **вилівницю** - металеву форму, яка обертається навколо своєї осі. Отже, кристалізація вилівка відбувається під дією відцентрових сил. При цьому використовуються ливарні машини з горизонтальною або вертикальною осями обертання (рис. 2.6); рідше застосовують машини з похилою віссю обертання.



а – з вертикальною віссю обертання; б – з горизонтальною віссю обертання;

1 - ківш; 2 - вилівниця; 3 – рідкий метал; 4 – жолоб

Рисунок 2.6 – Схеми машин відцентрового лиття



Внутрішня (вільна) поверхня виливків, які виготовляють на машинах з вертикального віссю обертання, має форму параболоїда обертання (рис. 3.6, а), у зв'язку з чим цей метод використовують при виробництві виливків з порівняно невеликим відношенням висоти до діаметра, наприклад, шківів, ободи, диски і т.п.

При горизонтальній або похилій осях обертання внутрішня поверхня вилівка має правильну циліндричну форму (рис. 3.6, б), тому цей метод використовують для лиття як коротких, так і видовжених виробів, наприклад, чавунних каналізаційних труб.

Відцентрове лиття дозволяє одержати порожнисті вилівки без застосування стрижнів. Діаметр отвору визначається лише кількістю залитого металу. Тому при відцентровому литті метал заливають, як правило, мірними ковшами. Відсутність литникової системи та надливів суттєво збільшує коефіцієнт використання матеріалу. Під дією відцентрових сил збільшується рідиноплинність металу, щільність виливків, покращуються їх механічні властивості. Але одночасно завдяки цьому на внутрішній поверхні збираються легкі неметалеві домішки та включення (шлак, плівки і т.п.). Тому точність і якість внутрішньої поверхні дуже низькі у порівнянні із зовнішньою.

При відцентровому литті якість вилівка багато у чому залежить від частоти обертання вилівниці. Занизька частота обертання не дозволяє отримати правильну циліндричну форму вилівка. Зависока частота обертання викликає утворення гарячих тріщин. Щоб визначити оптимальну частоту обертання для установок з горизонтальною віссю обертання, користуються формулою Константинова:

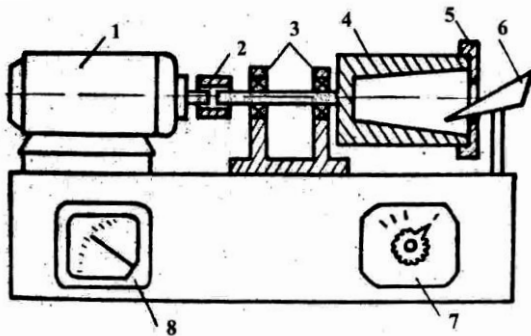
$$n=17456 / (\rho r)^{0,5}, \quad (2.4)$$

де  $n$  – частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $\rho$  – густина сплаву,  $\text{кг/м}^3$ ;  $r$  – радіус внутрішньої поверхні вилівка, м.

Переваги відцентрового лиття пов'язані з економією стрижневих сумішей та витрат на виготовлення стрижнів; відсутністю литникової системи або зменшенням її маси; підвищенням механічних властивостей виливків; можливістю відливання виливків з тонкими стінками зі сплавів, які мають низьку рідиноплинність; високими техніко-економічними показниками виробництва.

До недоліків відцентрового лиття належать: труднощі виготовлення виливків зі сплавів, схильних до ліквіації; неможливість отримання точних розмірів внутрішніх порожнин; дуже низька якість внутрішньої поверхні у порівнянні із зовнішньою.

*Лабораторна установка для відцентрового лиття* з горизонтальною віссю обертання (рис. 2.7) складається з електродвигуна постійного струму 1, лабораторного автотрансформатора 7 для регулювання частоти обертання чавунної форми (виливниці) 4, випрямляча змінного струму (на схемі не показаний), вольтметра, стрілка і шкала якого протаровані для визначення частоти обертання виливниці. За допомогою автотрансформатора частота обертання виливниці може змінювати від 200 до 3000 хв.<sup>-1</sup>



1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – підшипники опори;  
4 – виливниця (форма); 5 – кришка; 6 – жолоб; 7 – регулятор частоти обертання; 8 – показчик частоти обертання  
Рисунок 2.7 – Схема лабораторної установки для відцентрового лиття

### 2.4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується відцентрового лиття.
2. Розплавити метал і нагріти його до температури заливання.
3. Підготувати виливницю і жолоб до заливання.

### 2.4.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть відцентрового лиття?

2. Які сили діють на метал при відцентровому литті?
3. Як впливають відцентрові сили на формування виливків?
4. Назвіть види відцентрованого лиття.
5. Як впливає частота обертання виливниці на якість вилівка при відцентровому литті?
6. Назвіть переваги і недоліки відцентрового лиття?

#### **2.4.5 Обладнання, інструменти, матеріали**

1. Тигельна піч
2. Заливний ківш
3. Лабораторна установка для відцентрового лиття
4. Сплав цинковий ЦАМ 10-4
5. Деталь, виготовлена з вилівка
6. Набір еталонів шорсткості поверхонь литих деталей
7. Вага технічна
8. Штангенциркуль

#### **2.4.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Перед заливанням металу включити лабораторну установку для відцентрового лиття.
2. Переносити заливний ківш лише у рукавицях.
3. Під час заливання металу забороняється стояти у площині обертання кришки виливниці.

#### **2.4.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з будовою і роботою лабораторної установки для відцентрового лиття.
2. Згідно з розмірами вилівка та густиною ливарного сплаву визначити оптимальну частоту обертання виливниці.
3. Увімкнути установку, за допомогою регулятора встановити розрахункову частоту обертання виливниці.
4. Залити метал у виливницю, що обертається. По закінченню кристалізації вимкнути установку і видалити вилівок з виливниці.
5. Повторити процес виготовлення виливків при частотах обертання виливниці, які становлять 70 і 150 % від розрахункової.
6. Провести зовнішній огляд виливків, установити наявність зовнішніх дефектів; зробити висновок про їхній зв'язок з частотою обертання виливниці.

7. Порівнянням з еталонами оцінити шорсткість зовнішньої та внутрішньої поверхонь виливків.

8. Визначити припуски на механічне оброблення (для внутрішньої та зовнішньої поверхонь окремо) та коефіцієнт використання матеріалу згідно з п.п. 5, 6 розділу 2.1.7.

#### **2.4.8 Зміст звіту**

1. Коротко описати суть відцентрового лиття, його переваги і недоліки.

2. Відзначити вплив частоти обертання виливниці на якість виливків.

3. Навести дані про шорсткість внутрішньої та зовнішньої поверхонь виготовлених виливків.

4. На підставі проведених вимірювань навести розрахунки розкиду розмірів  $\Delta$  трьох виливків, припусків на механічне оброблення  $z_0$  та коефіцієнту використання матеріалу  $K_{в.м}$  відповідно до п.п.2.1.7. та 2.1.8.

## 3 ОБРОБЛЕННЯ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

### Лабораторна робота № 3.1

#### 3.1 Визначення ступенів деформування при обробленні металів тиском

##### 3.1.1 Мета роботи

Вивчити суть процесів пресування, волочіння, кування і обладнання, яке при цьому застосовується; вивчити методи визначення ступенів деформування при пресуванні, волочінні та куванні; встановити залежність можливого ступеня деформування від умов деформування.

##### 3.1.2 Загальні відомості

**Обробленням металів тиском** називається сукупність технологічних процесів, в результаті яких під дією зовнішніх сил здійснюється *пластична формозміна* заготовок. Вона можлива лише тоді, коли оброблюваний метал має достатню *пластичність*, тобто здатність необоротно змінювати свою форму без руйнування під дією зовнішніх сил. Пластичність будь-якого матеріалу не є безмежною і у найбільшому ступеню залежить від механічної схеми деформування (зокрема, від схеми напруженого стану), хімічного складу сплаву, температури і швидкості деформування тощо.

При обробленні металів тиском використовується поняття *ступеня деформування*, який характеризує відносну зміну площі поперечного перерізу або лінійних розмірів заготовки. При розрахунках ступеня деформування виходять з передумови, що при пластичному деформуванні об'єм заготовки залишається постійним (умова сталості об'єму).

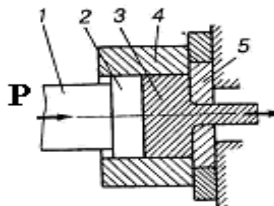
Залежно від температури деформування розрізняють холодне і гаряче оброблення металів тиском.

**Холодне деформування** здійснюється при температурах, нижчих температури рекристалізації ( $T_{рек} = (0,4 \dots 0,6) T_{пл}$ , К) даного металу. Воно супроводжується видовженням зерен, підвищенням міцності і твердості, зменшенням пластичності, а також підвищує точність розмірів і якість поверхні виробів.

**Гаряче деформування** здійснюється при температурах, вищих

температури рекристалізації. Воно дещо знецінює метал, погіршує якісні характеристики заготовки, але суттєво зменшує зусилля деформування.

**Пресування.** При пресуванні (рис. 3.1) нагрітий метал витискається через отвір у матриці 5. Розміри і форма поперечного перерізу одержаних виробів при цьому відповідають розмірам і формі отвору у матриці. Завдяки всебічному стисканню метал при пресуванні має високу технологічну пластичність, тому цей метод доречно використовувати для пресування малопластичних сплавів.



1 - пуансон; 2 - прес-шайба; 3 - заготовка; 4 - контейнер; 5 – матриця.

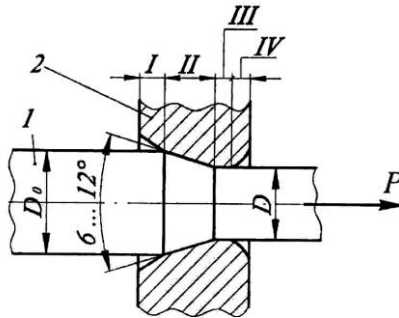
Рисунок 3.1 – Схема прямого пресування

Ступінь деформування при пресуванні характеризується коефіцієнтами обтискання  $\varepsilon$  та видовження  $\mu$ , які визначаються за співвідношенням площі поперечного перерізу контейнера  $F_k$  та отвору матриці  $F_m$  (у  $m^2$ ):

$$\varepsilon = (F_k - F_m) \cdot 100\% / F_k; \text{ та} \quad (3.1)$$

$$\mu = F_k / F_m. \quad (3.2)$$

**Волочіння.** Волочіння (рис. 3.2) - це процес протягування заготовки через інструмент (волоку) з метою зменшення її поперечного перерізу. Воно здійснюється, як правило, у холодному стані, що забезпечує низьку шорсткість поверхні та високу розмірну точність виробів. Волочіння можна використовувати для калібрування (уточнення) форми і розмірів поперечного перерізу заготовки, одержаної попередньо іншим способом. Це єдиний метод, який дає можливість виготовляти тонкі (капілярні) труби та дуже тонкий дріт діаметром до 0,002 мм.



1 - заготовка; 2 - волока.

Зони волоки: I - вхідна, або змашувальна; II - деформувальна; III - калібрувальна; IV - вихідна

Рисунок 3.2 – Схема волочиння

Відповідно коефіцієнти обтискання і видовження при волочинні:

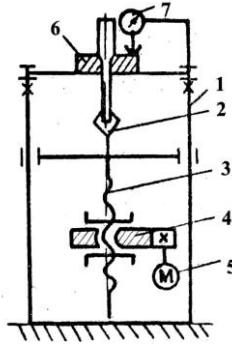
$$\varepsilon = (F_0 - F) \cdot 100\% / F_0 \quad \text{та} \quad (3.3)$$

$$\mu = l/L = F_0/F, \quad (3.4)$$

де  $L$ ,  $l$  – довжина відповідно вихідної заготовки і готового виробу, м;  $F_0$ ,  $F$  – площа поперечного перерізу відповідно вихідної заготовки і готового виробу, м<sup>2</sup>.

**Лабораторний волочильний стан** (рис. 3.3), який використовується у цій лабораторній роботі, має вертикальну станину 1. Тягове зусилля створюється за рахунок руху гвинта 3, який обертає електродвигун 5 через черв'ячну пару і гайку-шестерню 4. Волока 6 розташована на динамометрі, завдяки чому можна визначати фактичне зусилля волочиння.

**Кування.** При куванні необхідні форма і розміри можуть бути досягнуті внаслідок ударів або тиснення плоских бойків. При необхідності можуть використовуватися додаткові ковальські інструменти. Кування вимагає великої частки ручної праці, має низьку продуктивність, дозволяє одержувати заготовки з невисокою розмірною точністю. Проте цим методом можна виготовляти різноманітні складні фасонні поковки масою від декількох грамів до 200...300 т.



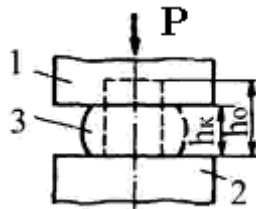
1 - станина; 2 - затискач; 3 - гвинт; 4 – гайка-шестерня; 5 - електродвигун; 6 - волока; 7 – індикатор динамометра

Рисунок 3.3 – Схема лабораторного волочильного стану

Технологія кування складається з чергування у певній послідовності тих чи інших ковальських операцій. Кожна з них має свій характер плинності металу, тому розрахунок ступеня деформування для кожної операції проводиться по-різному. Зокрема при осаджуванні (рис. 3.4.) ступінь деформування визначається коефіцієнтом уковування:

$$Y = F_k/F_0 = h_0/h_k, \quad (3.5)$$

де  $F_0$ ,  $F_k$  – площа поперечного перерізу заготовки в плані відповідно до та після деформування,  $m^2$ ;  $h_0$ ,  $h_k$  - висота заготовки відповідно до і після деформування,  $m$ .



1, 2 - бойки; 3 – заготовка.

Рисунок 3.4 - Схема осаджування при куванні



### **3.1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується особливостей пресування, волочіння і кування.
2. Підготувати вихідні матеріали для оброблення тиском.

### **3.1.4 Контрольні запитання**

1. На якій властивості металів ґрунтується оброблення їх тиском?
2. Що таке пластичність металу і як вона залежить від умов деформування?
3. Як визначається ступінь деформування при основних видах оброблення металів тиском?
4. Який інструмент використовують при куванні (волочінні, пресуванні)?
5. Чому при пресуванні забезпечується більша пластичність металу, ніж при волочінні?

### **3.1.5 Обладнання, інструменти, матеріали**

1. Гідравлічний прес для пресування
2. Лабораторний волочильний стан
3. Пневматичний ковальський молот
4. Технологічне оснащення для прямого пресування суцільних циліндричних прутків
5. Набір волок
6. Кліщі
7. Алюмінієвий дріт для волочіння
8. Заготовки свинцеві для кування і пресування
9. Штангенциркуль

### **3.1.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Встановлювати заготовки у робоче положення лише при вимкнутому обладнанні.
2. Перед початком оброблення тиском убрати руки із зони дії робочих органів обладнання.
3. Зразки при куванні утримувати кліщами.

### 3.1.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з будовою, принципом роботи і особливостями експлуатації обладнання й оснащення для пресування, волочіння і кування.

2. Провести пресування суцільного круглого профілю.

3. Провести волочіння алюмінієвих дротів.

4. Провести осаджування заготовок для кування.

5. У кожному випадку визначити розміри заготовок (дроту) до і після оброблення тиском.

6. Для матеріалу заготовок визначити температуру рекристалізації і, порівнюючи її з температурою деформування, зробити висновок, у якому стані (гарячому чи холодному) проведено деформування.

7. Для всіх проведених експериментів розрахувати коефіцієнти обтискання, видовження та уковування.

8. За результатами розрахунків заповнити таблицю результатів експериментів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати експериментів

Вид ОМТ	Матеріал заготовки	Температура рекристалізації, °С	Розміри заготовки, мм		Коефіцієнт видовження, уковування	Коефіцієнт обтискання, %	Примітки
			до деформування	після деформування			
Пресування							
Волочіння							
Кування							

### 3.1.8 Зміст звіту

1. Коротко описати суть процесів пресування, волочіння та кування (з доданням необхідних ескізів), а також обладнання і оснастку, яка застосовується при цьому.

2. Для кожного розглянутого виду ОМТ навести формули для розрахунку характеристик ступенів деформування.

3. За результатами розрахунків заповнити таблицю 3.1.

4. Зробити висновки щодо впливу способу деформування на пластичність металу.

## Лабораторна робота № 3.2

### 3.2 Об'ємне штампування

#### 3.2.1 Мета роботи

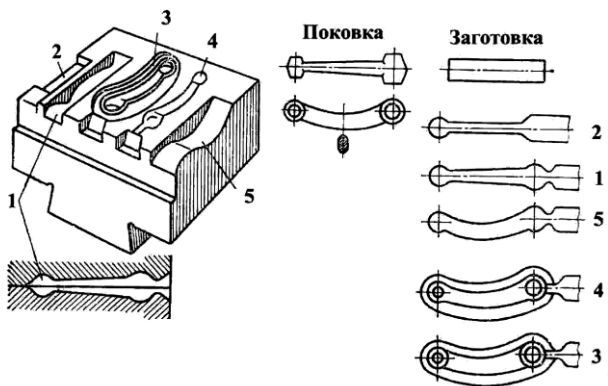
Вивчити процес об'ємного штампування; ознайомитися з будовою та принципом дії кривошипного гарячештампувального преса (КГШП), типами штампів.

#### 3.2.2 Загальні відомості

Об'ємне штампування – один з найпоширеніших методів виробництва штучних заготовок деталей машин, який забезпечує виготовлення якісних заготовок з високою продуктивністю, слушною макроструктурою і мінімальними припусками на механічне оброблення. **Об'ємним штампуванням** називається технологічний процес оброблення металу тиском, при якому деформування і плин металу відбувається у спеціальному інструменті – **штампі** із значним перерозподілом металу поперечного перерізу вихідної заготовки. Порожнини на робочій поверхні штампа – **рівчаки** – при змиканні верхньої та нижньої частин штампа утворюють єдину замкнену порожнину, яка за формою і розмірами відповідає готовій **поковці**. Залежно від характеру плину металу в процесі штампування розрізняють штампування у відкритих і закритих штампах. При **відкритому штампуванні** між верхньою і нижньою частинами штампа створюється зазор, в який на кінцевій стадії штампування витікає зайвий метал, утворюючи **облой**. Це сприяє кращому заповненню рівчака, але вимагає додаткової операції – обрізання облою. При **закритому штампуванні** невеликий зазор між частинами штампа забезпечує лише їхню взаємну рухомість і виключає можливість витікання металу. Облой не утворюється, але для поковки треба виготовляти точну за розмірами вихідну заготовку.

Поковки простої форми звичайно штампують у штампах з однією порожниною, тобто в однорівчакових штампах. Складніші за конфігурацією поковки штампують у **багаторівчакових** штампах, на робочій поверхні яких розташовано декілька рівчаків (рис. 3.5). Під час штампування заготовка послідовно переноситься з рівчака у рівчак, і її конфігурація поступово наближається до остаточної конфігурації поковки. Види і послідовність використання рівчаків

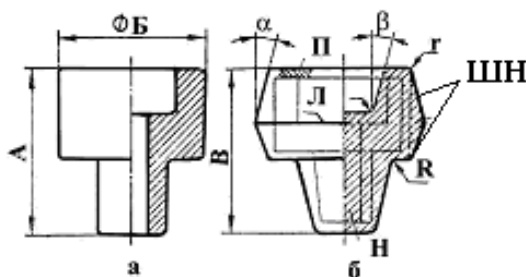
визначають при розробленні технологічного процесу штампування залежно від форми і розмірів поковки.



Рівняки: 1 - підкочувальний; 2 - протяговий; 3 - чистовий;  
4 - чорновий; 5 – гнугтевий

Рисунок 3.5 – Креслення поковки, багаторівняковий штамп та послідовність переходів (2-1-5-4-3), які виконуються на ньому

**Поковка** (рис. 3.6) відрізняється від деталі елементами, які додаються до поверхонь готової деталі: напуски, припуски на механічне оброблення (П), штампувальні нахили (ШН), радіусів заокруглень (R) тощо.



А, Б – розміри деталі; В – розмір поковки;  
П – припуск на механічне оброблення; Н – напуск; ШН та  $\alpha$  і  $\beta$  - зовнішні та внутрішні штампувальні нахили; Л – площина розніму;  
R і  $\gamma$  - внутрішні та зовнішні радіуси заокруглень

Рисунок 3.6 – Креслення деталі (а) і поковки (б)

**Напуски** Н призначають на елементи конструкції деталі, які неможливо виконати штампуванням. **Припуски** П додаються до поверхонь, які потім оброблятимуться різанням (на них вказаний відповідний параметр шорсткості).

На кресленні поковки визначають **площину розніму** штампа Л, після чого на поверхні, перпендикулярні до неї, встановлюють **штампувальні нахили** ШН (зовнішні  $\alpha$  і внутрішні  $\beta$ ). Поверхні, що сполучаються, з'єднуються радіусами заокруглень. **Внутрішні радіуси** заокруглень R забезпечують плавний перехід від однієї поверхні до іншої; **зовнішні радіуси** r заокруглюють гострі кромки поковки.

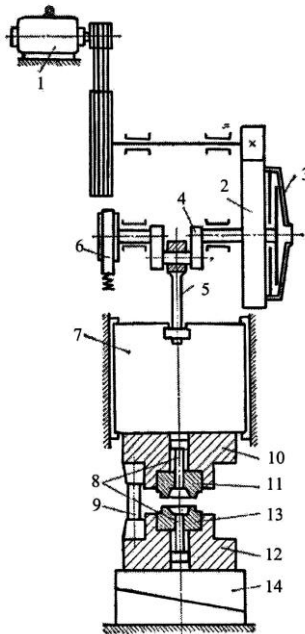
**Об'єм вихідної заготовки**  $V_3$ , з якої починається штампування, визначають за кресленням поковки з урахуванням додаткових витрат металу в процесі штампування:

$$V_3 = V_{\text{п}} + V_{\text{о}} + V_{\text{у}} + V_{\text{к}}. \quad (3.6)$$

Об'єм поковки розраховують за її кресленням. Об'єм облоку  $V_{\text{о}}$  звичайно становить 5...25%, витрати на угар  $V_{\text{у}}$  - 0,5...0,8% при електронагріванні або 1,5...2,0% від об'єму поковки  $V_{\text{п}}$  при полуменевому нагріванні. Відходи на кліщовину  $V_{\text{к}}$  становлять 5...60% від об'єму поковки.

Найпоширенішим видом обладнання для об'ємного штампування є **кривошипні гарячештампувальні преси** (КГШП) номінальним зусиллям 6,3...160 МН. Основними вузлами КГШП (рис. 3.7) є привод, виконавчий механізм і система керування.

Привод здійснюється від електродвигуна 1 через клинопасову і зубчасту передачу до колеса 2. Система керування через муфту 3 з'єднує його з валом 4 шатунно-кривошипного механізму. Повзун 7 разом з верхньою частиною штампа рухається по напрямним. Співпадиння верхньої і нижньої частин штампа забезпечують напрямні колонки 9. Повзун зупиняється у верхньому положенні за допомогою гальма 6. Стіл преса 14 завдяки клину має можливість вертикального переміщення для регулювання відстані між половинами штампа у відкритому стані.



1 - електродвигун; 2 – зубчасте колесо; 3 - муфта; 4 – колінчастий вал; 5 - шатун; 6 - гальмо; 7 - повзун; 8 - виштовхувачі; 9 – напрямні колонки; 10 – верхня плита штампа; 11, 13 – рівчакові вставки; 12 – нижня плита штампа; 14 – стіл

Рисунок 3.7 – Схема кривошипного гарячештампувального преса

Типорозмір штампувального преса визначають за необхідним зусиллям деформування  $P$ , МН:

$$P = k\sigma_d F, \quad (3.7)$$

де  $k$  - коефіцієнт, який дорівнюється 6,4...7,3;  $\sigma_v$  - границя міцності матеріалу поковки при температурі штампування, МПа;  $F$  - площа проекції поковки на площину розніму штампа, м<sup>2</sup>.

### 3.2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується технології об'ємного штампування.

2. Підготувати вихідні зразки для штампування.

### 3.2.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть об'ємного штампування?
2. Який інструмент використовується для штампування?
3. Яку роль виконує облой при відкритому штампуванні?
4. Яке обладнання найчастіше застосовують для об'ємного штампування?
5. Чим поковка відрізняється від готової деталі?
6. Як визначити об'єм вихідної заготовки при об'ємному штампуванні?

### 3.2.5 Обладнання, інструменти, матеріали

1. Кривошипний гарячештампувальний прес
2. Штампи для об'ємного штампування
3. Кліщі
4. Зразки свинцеві
5. Штангенциркуль

### 3.2.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Зразки подавати у штамп кліщами.
2. Перед початком руху штампа убрати руки з робочої зони преса.

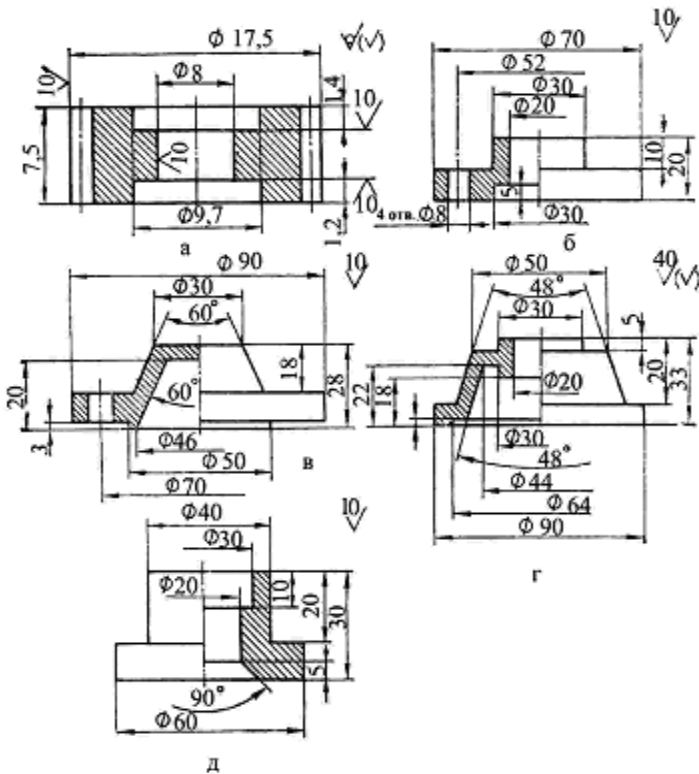
### 3.2.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з будовою, принципом роботи і правилами безпечної експлуатації кривошипного гарячештампувального преса.
2. Для деталі згідно з індивідуальним завданням (рис. 3.8) розробити орієнтовне креслення поковки, призначаючи припуски і напуски за рекомендаціями викладача; визначити об'єм поковки  $V_p$ .
3. Визначити об'єм вихідної заготовки як  $V_3 = (1,3 \dots 1,5) V_p$ . Приймаючи вихідну заготовку за циліндр, діаметром  $d_3$ , на 5% більше найбільшого діаметра деталі індивідуального завдання, визначити її висоту  $h_3$  за формулою:

$$h_3 = 4V_3 / (\pi d_3^2). \quad (3.8)$$

4. За розмірами вихідної заготовки визначити необхідне зусилля деформування  $P$ .

5. Провести штампування спроектованої поковки. Оцінити характер заповнення порожнини чистового рівчака штампа, якість поковки і величину облою.



а – шестерня; б – півмуфта; в – кришка; г - опора; д – втулка  
Рисунок 3.8 – Креслення деталей індивідуальних завдань

### 3.2.8 Зміст звіту

1. Коротко описати суть об'ємного штампування.
2. Накреслити деталь індивідуального завдання і розробити для неї креслення поковки.
3. Розбивши креслення поковки на прості геометричні фігури, розрахувати об'єм поковки  $V_{п}$  і об'єм вихідної заготовки  $V_3$ .



4. Розрахувати розміри вихідної заготовки ( $d_3$ ,  $h_3$ ) і за її розмірами - необхідне зусилля деформування  $P$ .

5. За результатами штампування описати якість готової поковки, ступінь заповнення рівчака, наявність (відсутність) облою.

6. Навести висновки про вірність спроектованої поковки або про помилки, допущені при її проектуванні.

## Лабораторна робота № 3.3

### 3.3 Листове штампування

#### 3.4.1 Мета роботи

Вивчити основні операції листового штампування; будову і принципи роботи штампів для листового штампування; граничну ступінь деформування заготовки на прикладі відбортуння отвору.

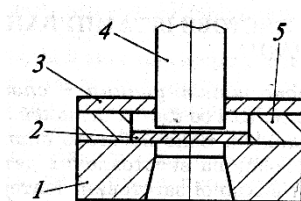
#### 3.3.2 Загальні відомості

**Листове штампування** – це технологічний процес оброблення тиском заготовок з листового або фасонного прокату без обумовленого значного перерозподілу металу поперечного перерізу вихідної заготовки. У спеціальних штампах відбувається повне або часткове відокремлення деталі від заготовки або зміна її просторової форми, але поперечний переріз при цьому не змінюється. Відповідно до цього операції листового штампування поділяються на **розділювальні**, коли відокремлюють частину матеріалу від листа (або стрічки) за заданим контуром, і **формозмінювальні**, коли утворюють об'ємну конфігурацію деталі.

Типовою *розділювальною* операцією є **вирубуння** – відокремлювання від заготовки частини матеріалу у вигляді виробу по замкненому контуру (рис. 3.9).

Пуансон 4 і матриця 1 виконують роль ножів. Пуансон, рухаючись униз, своїми гострими краями відокремлює деталь і проштовхує її в отвір матриці. Стрічку 2 періодично пересувають між напрямними лінійками 5.

Формозмінювальні операції листового штампування характеризуються наявністю напружень розтягу у схемі напруженого стану, зміцнюванням металу внаслідок пластичного деформування,



1 - матриця; 2 – заготовка (стрічка); 3 - знімач; 4 - пуансон;  
5 – напрямна лінійка

Рисунок 3.9 – Схема штампа для вирубування

що може викликати передчасне руйнування. Ці обставини обмежують можливий ступінь деформування.

Типовою *формозмінювальною* операцією є **відбортування** – утворення бортів шляхом витискання центральної частини заготовки з попередньо пробитим отвором у матрицю (рис. 3.10).

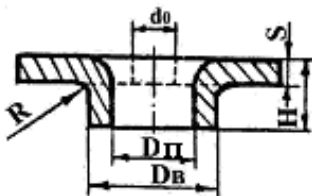


Рисунок 3.10 – Деталь після відбортування

Ступінь деформування при відбортуванні характеризується коефіцієнтом відбортування:

$$K_{вб} = d_0/D_{п}, \quad (3.9)$$

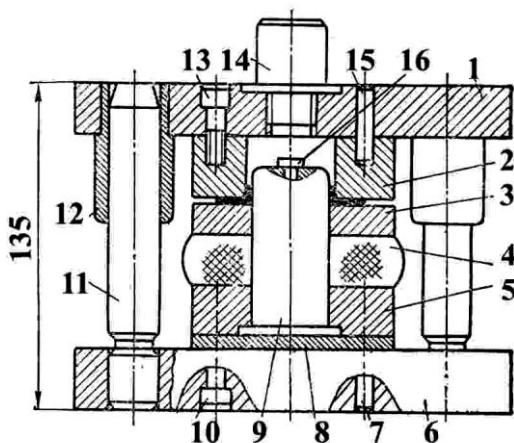
де  $d_0$  – діаметр попереднього технологічного отвору заготовки, мм;  $D_{п}$  – діаметр пуансона і отвору після відбортування, мм.

Коефіцієнт відбортування  $K_{вб}$  залежить від виду і властивостей матеріалу, а також від величини відносної товщини  $\delta = (S/d_0) \cdot 100\%$ .

Зі збільшенням відносної товщини  $\delta$  значення гранично допустимого коефіцієнта відбортування збільшується. Для

маловуглецевих сталей при  $\delta = 3...9$   $K_{вб} = 0,60...0,45$ , а при  $\delta = 67...100$   $K_{вб} = 0,23...0,20$ .

**Штамп для виконання операції відбортування** – відносно складний інструмент, який складається із значної кількості деталей (рис. 3.11). Базові деталі штампа – дві плити (верхня 1 і нижня 6), які служать для закріплення на них робочого інструмента (пуансона 9 та матриці 2). Співвісність руху пуансона та матриці визначаються напрямними втулками 12 і колонками 11, які запресовані у верхню та нижню плити штампа. Нижня частина штампа кріпиться нерухомо до столу преса, а верхня - до повзуна преса за допомогою хвостовика 14.



- 1 – плита верхня; 2 - матриця; 3 – кільце притискне; 4 - буфер;  
 5 – пуансонотримач; 6 - плита нижня; 7, 15 - штифт;  
 8 - прокладка; 9 - пуансон; 10, 13 - гвинт; 11 - колонка;  
 12 - втулка; 14 - хвостовик; 16 – фіксатор
- Рисунок 3.11 – Штамп для відбортування отворів

### 3.3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується технології листового штампування.
2. Підготувати вихідні зразки для штампування.

### 3.3.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть листового штампування?

2. Які операції листового штампування Ви знаєте?
3. Опишіть суть процесу вирубування (відбортування).
4. Опишіть будову штампа для листового штампування.
5. Яке технологічне обладнання застосовується при листовому штампуванні?

### **3.3.5 Обладнання, інструменти, матеріали**

1. Кривошипний прес простої дії
2. Лабораторний штамп для вирубування деталей
3. Лабораторний штамп для відбортування отворів з набором фіксаторів різних діаметрів
4. Стрічка (зразок) з маловуглецевої сталі для пробивання отворів
5. Стрічка (зразок) з маловуглецевої сталі для відбортування з попередньо пробитими (просвердленими) отворами
6. Штангенциркуль

### **3.3.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Стрічки пересувати в штампах, використовуючи рукавиці.
2. Перед початком руху штампа убити руки з робочої зони преса.

### **3.3.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з будовою, принципом роботи і правилами безпечної експлуатації преса і штампів для пробивання та відбортування отворів.

2. Вирубити зі стрічки декілька деталей.

3. На штампі для відбортування виміряти товщину стрічки (зразка)  $S$ , діаметр пуансона  $D_n$  (рис. 3.10, 3.11, поз. 9), радіус заокруглення матриці  $R$  (рис. 3.10, 3.11, поз. 2), діаметр найбільшого фіксатора  $d_o$  (рис. 3.11, поз. 16).

Сумістити попередньо пробитий технологічний отвір стрічки зі встановленим фіксатором і провести відбортування першої заготовки.

Визначити коефіцієнт відбортування  $K_{вб}$  та висоту  $H$ .

4. Встановлюючи на пуансон менші фіксатори та відповідні їм заготовки, аналогічно відбортувати наступні заготовки. Відборткування проводити доти, поки на краях відбортваного

отвору не з'явиться тріщина, що свідчить про граничну величину коефіцієнта відборткування.

Для кожного експеримента визначити коефіцієнт відборткування  $K_{вб}$  та висоту борту  $H$ .

### 3.3.8 Зміст звіту

1. Коротко описати суть листового штампування, принципи дії преса і штампів для листового штампування.

2. Дати визначення операції вирубання.

3. Дати визначення операції відборткування, накреслити деталь після відборткування.

4. Результати експериментів з відборткування внести у табл.3.2.

5. За результатами експериментів зробити висновок про залежність величини коефіцієнта відборткування і висоти борту від діаметра попереднього технологічного отвору.

Таблиця 3.2 - Результати дослідження процесу відборткування отворів

№№ зразка	Експериментальні розміри, мм				Коефіцієнт відборткування $K_{вб}$	Висота борту $H$ , мм
	S	$d_0$	$D_{п}$	R		

## ЛІТЕРАТУРА

### Основна

1. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. – Львів: Світ, 2006. – 624 с.
2. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Матеріалознавство та термічна обробка: Підручник. – Львів: Афіша, 2002. – 304 с.
3. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз М.І. та ін.; За ред М.А. Сологуба. - К.: Вища шк., 2016. - 300 с.
4. Матеріалознавство: Підручник для вузів./ Бялік О.М., Черненко В.С., Писаренко В.М., Москаленко Ю.Н. – К.: Політехніка, 2001. – 375 с.
5. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / За ред. М.А Сологуба. – К.: Вища шк., 2002. – 374 с.

### Додаткова

6. Богуслаєв В.О., Качан О.Я., Калініна Н.Є., Мозговий В.Ф., Калінін В.Т. Авіаційно-космічні матеріали та технології . – Запоріжжя: вид. ВАТ «Мотор-Січ», 2009. – 383 с.
7. Волчок І.П., Плескач В.М., Шестаков І.А. Сучасні виробничі технології у машинобудуванні та металургії: Навч. посібник / за заг. ред. проф. І.П.Волчка – Запоріжжя: ЗНТУ, Дике Поле, 2006. – 360 с.
8. Солнцев Ю.П., Беліков С.Б., Волчок І.П., Шейко С.П. Спеціальні конструкційні матеріали: Підручник. – Запоріжжя: ВАЛПИС-ПОЛІГРАФ, 2010. – 536 с.
9. Чумак М.І. Матеріали та технологія машинобудування: Підручник. – К.: Либідь, 2000. 368 с.