

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія виробництва  
заготовок та контроль якості продукції»  
для студентів спеціальності G8 Матеріалознавство  
спеціалізації Композиційні та порошкові матеріали, покриття  
денної форми навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Технологія виробництва заготовок та контроль якості продукції» для студентів спеціальності G8 Матеріалознавство спеціалізації Композиційні та порошкові матеріали, покриття денної форми навчання / Укл. В. М. Плескач, Акімов І. В.– Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 59 с.

Укладачі:	В.М.Плескач, доц., к.т.н., І.В.Акімов, доц., к.т.н.
Рецензент:	О.А.Мітяєв, проф., д.т.н.
Експерт:	О.А.Мітяєв, проф., д.т.н.
Відповідальний за випуск:	В.М.Плескач, доц., к.т.н.

Затверджено на засіданні кафедри композиційних матеріалів, хімії та технологій, протокол № 2 від 25.08.2025 р.

Рекомендовано до видання НМК факультету БАД, протокол № 1 від 11.09.2025 р.

**ЗМІСТ**

Вступ.....	4
Лабораторна робота № 1 Визначення вимірюванням похибок розмірів виготовлених деталей машин.....	5
Лабораторна робота № 2. Оцінювання якості технологічного процесу статистичним обробленням результатів вимірювання.....	9
Лабораторна робота № 3. Призначення посадок для пари «пуансон – матриця».....	15
Лабораторна робота № 4 Порівняльний аналіз методів виробництва литих заготовок.....	20
Лабораторна робота № 5. Виробництво заготовок куванням та штампуванням.....	27
Лабораторна робота № 6. Виробництво заготовок різанням з притка.....	35
Лабораторна робота № 7. Вплив способу виробництва заготовок на механічні властивості металу .....	44
Лабораторна робота № 8. Оцінка дефектів порошкового виробу.....	51
Література.....	57
Додаток А. Коефіцієнт Стьюдента $t_p$ .....	59

## ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Технологія виробництва заготовок і контроль якості продукції» для студентів спеціальності G8 Матеріалознавство спеціалізації Композиційні та порошкові матеріали, покриття призначені для закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях. Вони сприяють їх засвоєнню та набуттю практичних навичок використання правил і рекомендацій дисципліни для проектування заготовок та контролю якості продукції. При виконанні лабораторних робіт студенти навчаються приймати оптимальні рішення на підставі чинних стандартів та оцінювати результат шляхом техніко-економічного аналізу.

При виконанні лабораторних робіт студенти також знайомляться з технологіями виробництва заготовок, вибором обладнання, принципами проектування заготовок згідно з чинними стандартами та способами оцінювання їх якості з використанням обладнання та інструментів, що застосовуються для вимірювання; самостійно (або під керівництвом навчального майстра) готують їх до роботи, проводять експерименти, реєструють результати, роблять висновки і оформляють звіт.

Кожна лабораторна робота розрахована на чотиригодинне заняття. Перед початком кожної лабораторної роботи проводиться інструктаж з техніки безпеки. Контроль знань рекомендується проводити шляхом тестування або співбесіди.

## Лабораторна робота № 1

# ВИЗНАЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯМ ПОХИБОК РОЗМІРІВ ВИГОТОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

### 1.1 Мета роботи

Ознайомитися зі способами вимірювання, характеристиками точності вимірювання; навчитися визначати основні характеристики похибок при вимірюванні лінійних розмірів.

### 1.2 Загальні відомості

**Вимірювання** – це знаходження значень фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів, які мають метрологічні характеристики [1,2]. Метрологічні характеристики засобу вимірювання зберігають одиницю фізичної величини і дозволяють порівняти з нею вимірювану величину. Отримане значення є результатом вимірювання.

За способом отримання числових значень вимірюваної величини розрізняють декілька видів вимірювання.

**Контактне вимірювання** – це вимірювання, при якому чутливий елемент засобу вимірювання має безпосередній механічний контакт з поверхнею об'єкта вимірювання. Наприклад, вимірювання за допомогою штангенциркуля, мікрометра і т.п.

**Безконтактне вимірювання** – це вимірювання, при якому чутливий елемент засобу вимірювання не має механічного контакту з поверхнею об'єкта вимірювання. Наприклад, вимірювання розмірів за допомогою оптичних інструментальних мікроскопів.

**Пряме вимірювання** – це вимірювання, при якому значення вимірюваної величини визначають безпосередньо за результатами вимірювання. Наприклад, вимірювання діаметра вала за допомогою штангенциркуля.

**Опосередковане вимірювання** – це вимірювання, при якому шукане значення величини визначають перерахунком результатів прямих вимірювань величин, зв'язаних з шуканою величиною відомою залежністю. Наприклад, прямим вимірюванням штангенциркулем неможливо визначити міжцентрову відстань двох отворів. Але можна виміряти діаметри отворів і відстань між найближчими кромками отворів. Шуканий розмір знаходять

додаванням відстані між найближчими кромками отворів і радіусів отворів.

Лінійні розміри, як правило, визначають методом безпосереднього оцінювання. При цьому величину об'єкта, що вимірюється, визначають за відліковим елементом, наявним у конструкції застосованого засобу вимірювання.

При виконанні вимірювань неминуче виникають похибки різної величини. *Похибкою вимірювання називається відхилення результату вимірювання від дійсного значення вимірюваної величини.* Дійсним значення вимірюваної величини вважається розмір, отриманий шляхом вимірювання, виконаного з максимально допустимою похибкою, величина якої визначається відповідними стандартами. Дійсне значення вимірюваної величини у міру вдосконалення засобів вимірювання та підвищення точності їх виготовлення наближається до *істинного значення*, яке теоретично вільне від похибок. На практиці дійсне значення задається еталонами, кінцевими мірами, калібрами тощо.

У виробничій практиці похибку вимірювання розглядають як сумарну (повну) похибку всього процесу вимірювання, складовими частками якої є інструментальна похибка, або похибка засобу вимірювання; похибка, яка вноситься в процес вимірювання стандартними мірами і зразками; похибки, які залежать від умов вимірювання (вимірювальне зусилля, температурне розширення (стискання) тощо; суб'єктивні похибки людини, яка виконує вимірювання.

За походженням похибки поділяються на систематичні та випадкові.

*Систематична похибка* вимірювання – складова похибки, яка залишається постійною або змінюється за відомим законом. Ці похибки можуть бути вивчені та враховані внесенням певних поправок. Наприклад, похибка у налаштуванні положення нульової поділки засобу вимірювання лінійних розмірів.

*Випадкова похибка* вимірювання – складова похибки, яка змінюється випадково кожного разу при повторних вимірюваннях однієї й тієї ж величини. Випадкові похибки виявляються при повторних вимірюваннях. Їх можна вирахувати на базі теорії імовірності та виключити з результатів вимірювання.

У процесі вимірювання визначають абсолютні, відносні та зведені похибки.

**Абсолютною похибкою** вимірювання  $\Delta L$  називається різниця між показом засобу вимірювання  $L_n$  та істинним значенням вимірюваної величини  $L_i$ . На практиці частіше доводиться мати справу не з істинними величинами, а з дійсним значенням вимірюваної величини  $L_d$ , визначеної розрахунком або за допомогою точніших зразкових засобів вимірювання. Величина абсолютної похибки визначається за формулою:

$$\Delta L = L_n - L_d \quad (1.1)$$

Абсолютна похибка характеризує фактичну помилку даного вимірювання і не завжди дає уявлення про достовірність та прийнятність отриманого результату. Наскільки велика отримана похибка краще характеризує відносна похибка вимірювання  $\delta_L$ .

**Відотною похибкою** вимірювання називається відношення абсолютної похибки вимірювання  $\Delta L$  до дійсного значення вимірюваної величини  $L_o$ , виражене у відсотках:

$$\delta_L = (\Delta L / L_o) \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Точність вимірювання по всій шкалі засобу вимірювання, пов'язану з його конструктивними особливостями, характеризує зведена похибка вимірювання.

**Зведеною похибкою** вимірювання називається відношення абсолютної похибки вимірювання  $\Delta L$  до нормативного значення засобу вимірювання  $L_N$ , виражене у відсотках:

$$\gamma = (\Delta L / L_N) \cdot 100\% \quad (1.3)$$

За нормативне значення засобу вимірювання приймають значення, характерне для даного вимірювального приладу. Найчастіше це верхня границя вимірювання, а для приладів з рівномірною шкалою — кінцеве значення шкали.

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

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується вимірювання, його видів та характеристик.

#### **1.4 Контрольні запитання**

1. Що називається вимірюванням?
2. Які Ви знаєте способи вимірювання?
3. Що називається похибкою вимірювання?
4. Як класифікуються похибки вимірювання?
5. Що характеризує зведена похибка вимірювання?

#### **1.5 Обладнання, інструменти**

1. Лінійка вимірювальна
2. Штангенциркуль
3. Мікрометр гладкий
4. Міра кінцева розміром  $L_d$

#### **1.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання засобів вимірювання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

#### **1.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Підготувати засоби вимірювання до вимірювання.
2. Перевірити стан засобів вимірювання та кінцевої міри; у випадку необхідності знежирити вимірювальні поверхні.
3. Провести вимірювання кінцевої міри різними засобами вимірювання.
4. Для кожного засобу вимірювання розрахувати абсолютну, відносну та зведену похибки вимірювання.
5. За результатами розрахунків заповнити таблицю результатів вимірювань (таблиця 1.1).

#### **2.8 Зміст звіту**

1. Дати загальну характеристику вимірювання, його видів.
2. Дати загальну характеристику похибок вимірювання, їх видів; навести формули для їх розрахунку.
3. За результатами розрахунків заповнити таблицю 1.1.

4. За отриманими величинами похибок зробити висновки щодо причин їх виникнення та точності засобів вимірювання

Таблиця 1.1 – Результати вимірювань

Засіб вимірювання	Ціна поділки, мм	Нормативна характеристика засобу вимірювання $L_N$ , мм	Дійсне значення вимірюваної величини, $L_d$ , мм	Показ засобу вимірювання, $L_p$ , мм	Абсолютна похибка $\Delta L$ , мм	Відносна похибка, $\delta_L$ , %	Зведена похибка $\gamma$ , %
Лінійка вимірювальна							
Штангенциркуль							
Мікрометр гладкий							

## Лабораторна робота № 2

### ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СТАТИСТИЧНИМ ОБРОБЛЕННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

#### 2.1 Мета роботи

Вивчити методику статистичного оброблення результатів вимірювання; навчитися використовувати результати статистичного оброблення для аналізу ефективності технологічних процесів.

#### 2.2 Загальні відомості

Статистичне вивчення різноманітних явищ використовується для контролю якості виробів, аналізу точності технологічних процесів, складу речовин і сумішей тощо. Теоретичною основою

статистичного оброблення результатів аналізу є теорія ймовірності та закон великих чисел. Згідно з ними результат спостережень – сума багатьох слабо взаємозалежних величин – при збільшенні числа спостережень прямує до **нормального розподілу**, тобто до розподілу щільності ймовірностей, яка співпадає з функцією Гаусса (рис. 2.1). Нормальний розподіл часто зустрічається в природі, зокрема при оцінювання похибок вимірювання лінійних розмірів [2-4].

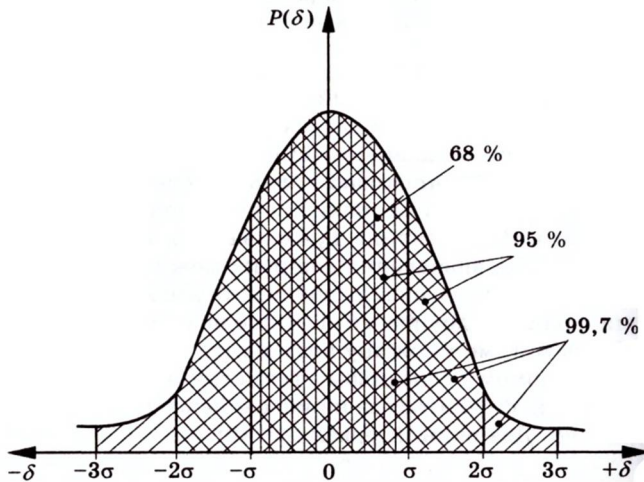


Рисунок 2.1 - Ступінь розсіювання похибок та довірчі ймовірності при нормальному законі розподілу

У реальних умовах неможливо охопити статистичним аналізом усю сукупність явищ, що розглядаються – зокрема, похибок при вимірюванні (так звану **генеральну сукупність**). Тому на практиці статистичному обробленню піддається **вибіркова сукупність (вибірка)** – частина генеральної сукупності, яка відбиває її основні властивості та призначена для формування змістовних суджень про всю генеральну сукупність.

Статистичне оброблення результатів вимірювання фізичної величини включає обчислення наступних статистичних характеристик вимірюваної величини: середнє арифметичне і середнє квадратичне відхилення, довірчий інтервал відхилень (похибок) при заданій

ймовірності. Похибку поза довірчим інтервалом можна вважати незначущою.

Припустимо, що маємо  $n$  вимірювань фізичної величини  $x$ :  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . При малій кількості результатів ( $n < 40$ ) статистичне оброблення їх проводиться у такій послідовності.

Спочатку знаходять *середнє арифметичне* значення вимірюваної величини:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.1)$$

Воно є центром нормального розподілу (розсіювання, рис. 2.1) похибок при вимірюванні і служить точковою оцінкою істинного значення вимірюваної величини.

Далі для кожного вимірювання обчислюють випадкові відхилення результатів вимірювань та їх квадрати:

$$\delta_i = x_i - \bar{x}; \delta_i^2 = (x_i - \bar{x})^2. \quad (2.2)$$

На підставі отриманих значень обчислюють *середнє квадратичне відхилення* результатів вимірювання:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}. \quad (2.3)$$

Середнє квадратичне відхилення характеризує *збіжність* результатів – ступінь концентрації відхилень (похибок) результатів вимірювань  $\sigma_x$  відносно центра нормального розподілу ( $\bar{x}$ ).

Перед подальшими розрахунками треба впевнитися у відсутності (або наявності) серед результатів вимірювання  $x_i$  грубих похибок. *Груба похибка* – це результат окремого спостереження, який для даних умов вимірювання різко відрізняється від решти результатів. При статистичному обробленні вона виявляється за допомогою «критерію  $3\sigma$ ». «Критерій  $3\sigma$ » ґрунтується на тому,

загальна сукупність результатів спостережень з випадковими похибками  $|\delta_i| \leq 3\sigma$  становить 99,73% всіх спостережень, і тому похибки  $|\delta_i| > 3\sigma$  (0,27%) можна виключити з ряду результатів як незначущі для даної виборки вимірювань.

Якщо такі похибки у даній сукупності результатів (виборці) виявлені, то вони виключаються з неї, а для нової сукупності знову розраховуються середнє арифметичне значення вимірюваної величини і середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання.

**Довірчий інтервал** результатів вимірювання – це верхня і нижня границі інтервалу, в який похибки  $\delta_i$  потрапляють із заданою імовірністю  $P$ . Величина  $P$  називається **довірчою імовірністю**. Довірча імовірність – це ймовірність, яку можна визнати достатньою для судження про достовірність результатів у рамках задачі, що вирішується даним вимірюванням.

Задаючись довірчою імовірністю  $P$ , визначають межі довірчого інтервалу:

$$\delta_{di} = t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \quad (2.4)$$

де  $t_p$  – коефіцієнт Стьюдента, який залежить від заданої довірчої імовірності  $P$  та кількості вимірювань  $n$  у виборці.

Остаточний результат записується у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \delta_{di}. \quad (2.5)$$

Якщо отриманий довірчий інтервал відповідає заданій точності лінійних розмірів виробу (знаходиться у межах визначених конструкторською документацією допусків), то це означає, що технологічний процес виготовлення виробу забезпечує задану точність; якщо ні, то необхідно вжити заходи з удосконалення технологічного процесу.

### 2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується статистичного оброблення результатів

вимірювання та методики його проведення.

#### **2.4 Контрольні запитання**

1. Яке призначення статистичного оброблення результатів аналізу природних явищ?
2. На чому ґрунтується статистичне оброблення результатів аналізу?
3. Які характеристики обчислюються при обробленні результатів вимірювання фізичної величини?
4. Яка послідовність розрахунків при статистичному обробленні результатів вимірювання фізичної величини?
5. Що таке довірчий інтервал результатів вимірювання і як його розраховують?
6. Як уникнути при розрахунках грубої похибки?

#### **2.5 Обладнання, інструменти**

1. Зразки (вироби) для вимірювання – 20...30 шт.
2. Штангенциркуль

#### **2.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання застосовуваного засобу вимірювання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

#### **2.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Підготувати зразки (вироби) і засіб вимірювання до вимірювання. Записати визначений конструктором допуск (граничні відхилення) на лінійний розмір зразка, який передбачається вимірювати.
2. Виміряти лінійний розмір  $x_i$  на  $n$  зразках. Розрахувати середнє арифметичне значення результатів вимірювання  $\bar{x}$  за формулою (2.1) і для кожного вимірювання – випадкові відхилення  $\delta_i$  та їх квадрати за формулами (2.2). Результати розрахунків записати у таблицю 2.1.
3. Обчислити середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання  $\sigma_x$  за формулою (2.3).
4. Проаналізувати випадкові відхилення  $\delta_i$ , і за допомогою «критерію  $3\sigma$ » виявити грубі похибки. Якщо такі виявляться, треба

вилучити їх з числа випадкових відхилень, повторити розрахунки за п.п. 1...3, і результати їх (другою колонкою) внести у таблицю 3.1.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювань і розрахунків

№	$X_i$ , мм	$\delta_i$ , мм	$\delta_i^2$ , мм
1			
2			
3			
...			
...			
n			
$\Sigma$			
	$\bar{X}$		$\sigma_x =$

5. Задаючись довірчою імовірністю  $P$ , визначають межі довірчого інтервалу  $\delta_{di}$  за формулою (2.4). Коефіцієнт Стюдента  $t_p$ , який залежить від обраної довірчої ймовірності  $P$  та кількості вимірювань  $n$ , обрати з додатку А.

6. Установити довірчі розміри зразків (формула 2.5), порівняти їх із заданим допуском на лінійний розмір зразка, що вимірювався, і зробити висновок щодо ефективності технологічного процесу виготовлення зразків (виробів).

## 2.8 Зміст звіту

1. Дати загальну характеристику статистичному методу оброблення результатів вимірювання.

2. Викласти послідовність статистичного оброблення результатів вимірювання з наведенням необхідних формул.

3. Після вимірювання визначеного викладачем лінійного розміру зразків зробити необхідні розрахунки. Розміри зразків  $x_i$ , хід і результати розрахунків занести у таблицю 2.1.

4. Навести розрахунок довірчих розмірів зразків

5. За результатами розрахунків зробити висновок щодо ефективності технологічного процесу виготовлення зразків.

## Лабораторна робота № 3

### ПРИЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК ДЛЯ ПАРИ «ПУАНСОН – МАТРИЦЯ»

#### 3.1 Мета роботи

Ознайомитися з принципами та методикою розрахунків з метою призначення посадок для пари «пуансон – матриця».

#### 3.2 Загальні відомості

Формування виробів з порошкових матеріалів здійснюється найчастіше шляхом холодного пресування. При цьому відбувається зворотньо-поступальний рух пуансону відносно матриці. Правильне призначення посадки пари «пуансон – матриця» має забезпечити, з одного боку, виготовлення якісного виробу, з іншого — достатньо тривалий час експлуатації прес-форми, оскільки і матриця, і пуансон в процесі експлуатації зношуються.

Згідно з ДСТУ 2500-94 [5] *посадкою* називається характер з'єднання двох деталей, визначений різницею їх розмірів до складання. Очевидно, що для роботи прес-форми необхідно забезпечити посадку з зазором. **Посадка з зазором** – це посадка, за якою у з'єднанні завжди утворюється зазор, тобто найменший граничний розмір отвору більший за найбільший граничний розмір вала або дорівнює йому. У свою чергу **зазор** – це різниця між розмірами отвору і вала до складання, якщо розмір отвору більший за розмір вала.

З технологічних міркувань посадки пари «матриця – пуансон» виконуються у **системі отвору**. У системі отвору необхідні зазори утворюються сполученням різних полів допусків валів з полем допуску основного отвору, нижнє відхилення якого дорівнює нулю. Це означає, що при розрахунках для отворів можна використовувати тільки основні відхилення  $H$ , а для валів – від  $a$  до  $h$ , оскільки вони знаходяться під нульовою лінією валів.

Звичайно при проектуванні прес-форм у залежності від умов пресування пуансон і матриця сполучаються за групою посадок  $H/f$  6-го – 8-го квалітету, які характеризуються поміркованим гарантованим зазором і застосовуються також у сполученнях поршнів з циліндрами компресорів та гідравлічних пресів. Посадки групи  $H/g$  створюють

найменший у порівнянні з іншими гарантований зазор. Вони застосовуються лише при точних квалітетах від 4-го до 7-го для сполучень з повільними зворотньо-поступальними переміщеннями.

Залежно від матеріалу виробу, його складності і точності, а також розміру замовленої партії виробів для прес-форм рекомендуються посадки Н7/ф7, Н8/ф8 або посадки типу Н6/г5, Н6/г6, Н7/г6.

**Вихідними даними** для розрахунку діаметрів матриці та пуансону, які визначають посадку даного сполучення, є: ескіз готової деталі, її діаметральні розміри з необхідними допусками ІТ; хімічний склад і технологічні характеристики матеріалу деталі; коротка технологічна схема виготовлення деталі (зокрема, характер пресування, чи передбачені припуски на механічне оброблення або калібрування після пресування і т.п.). Для посадки у системі отвору основне відхилення для матриці (отвору) має бути Н, тобто нижнє відхилення  $EI = 0$ , а верхнє відхилення  $ES$  обирається залежно від класу точності (квалітету) та її номінального діаметра (рис. 3.1).

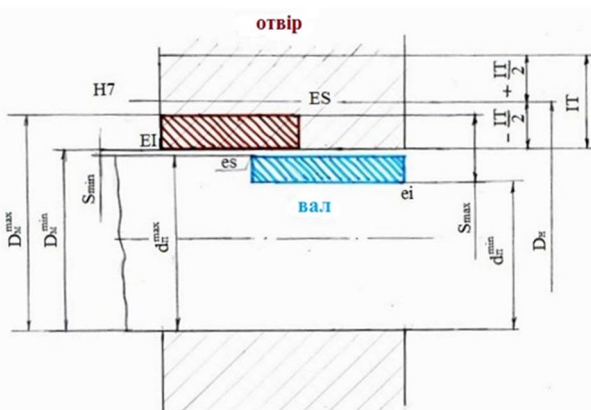


Рисунок 3.1 – Сполучення пари «пуансон (вал) - матриця (отвір)»

Розрахунок номінального **внутрішнього діаметра матриці**  $D$ , мм, здійснюється за формулою:

$$D = D_n \pm IT/2 - I_d \pm n_d + K, \quad (3.1)$$

де  $D_n$  – номінальний розмір виробу, що пресується, мм;  $\Gamma$  – поле допуску на номінальний розмір виробу, мм;  $l_d$  – величина пружної післядії, мм;  $n_d$  – величина усадки (або розширення) виробу при спіканні, мм;  $K$  – припуск на калібрування виробу після його спікання.

Номінальний розмір виробу  $D_n$  задається конструктором з полем допуску  $\Gamma$ , який симетрично розподіляється відносно нульової лінії ( $\pm \Gamma/2$ , рис. 3.1). Це означає, що **нову матрицю** виготовляють, орієнтуючись на мінімальний діаметр виробу. В процесі експлуатації матриця зношується, переточується, і її використання закінчується, коли вироби, що нею виготовляються, досягають максимально допустимого розміру ( $D_n + \Gamma/2$ ). На кожному етапі експлуатації на матрицю і пуансон призначають такі граничні відхилення, які забезпечують посадку із зазорами, необхідними при виготовленні виробу.

Тому за номінальний діаметр **нової матриці**  $D_m$  приймається її мінімальний діаметр  $D_m^{\min}$ , який розраховується за формулою:

$$D_m = D_n - \Gamma/2 - l_d \pm n_d + K. \quad (3.2)$$

Складові компоненти формули, які залежать від властивостей матеріалу виробу, знаходяться на підставі таких міркувань [8].

**Пружна післядія** – це збільшення розмірів брикету після випресовування його з матриці. Основна частина пружного розширення брикету відбувається практично миттєво, в момент виштовхування брикету з матриці; решта – протягом певного часу до спікання. Величина пружної післядії по діаметру може становити від 2 до 3%.

У переважній більшості випадків при спіканні спостерігається зростання густини і зменшення розмірів сформованого брикету за рахунок зменшення об'єму відкритих пор та їх заростання. Це явище називається **усадкою**. Величина усадки залежить від хімічного складу порошкової суміші, форми і розмірів часток порошку, тиску пресування, температури і тривалості спікання та ін. Величина усадки для різних порошків та різних умов пресування і спікання може коливатися у межах від 5 до 12...15%.

У деяких випадках при спіканні спостерігається **зростання** розмірів брикету при виникненні закритої пористості за рахунок утворення невідновлюваних оксидів, фазових перетворень, виділення газів тощо.

Якщо при спіканні розмір брикету зменшується, то у формулі (3.2) перед величиною  $d_d$  буде знак «плюс», а якщо збільшується – знак «мінус».

**Припуск на калібрування** виробу після його спікання  $K$ , як правило, береться у межах 0,05...0,10 мм.

Номинальний **діаметр пуансона**  $d_p = d_{p-ei}^{-es}$  залежить від номінального діаметра матриці, і для нової матриці він дорівнює її мінімальній величині  $D_M^{min}$ . Правильно обрана посадка повинна забезпечити зазор між ними. Зазор між матрицею і пуансоном необхідний для виходу повітря з виробу при пресуванні, проте у цей зазор не повинен просипатися порошок виробу, оскільки це збільшує зношування прес-форми та зменшує точність виготовлення виробу.

На практиці мінімальний зазор між матрицею і пуансоном  $S_{min}$  обирається у межах 0,005...0,015 мм. Він відповідає розмірам *нової* прес-форми. Одночасно максимальний зазор  $S_{max}$  має бути меншим розміру частинок основної фракції порошку, з якого виготовляється виріб. Наприклад, якщо не менше 80% частинок порошоків залізних та високолегованих сталей і сплавів мають розмір частинок понад 0,056 мм, то можна обрати  $S_{max} = 0,050$  мм.

Задавшись орієнтовними зазорами  $S_{min}$  і  $S_{max}$  і знаючи граничні відхилення EI та ES для визначеного діаметра матриці  $D_M^{min}$ , можна розрахувати відповідні граничні відхилення  $ei$  і  $es$  діаметра пуансона  $d_p$ .

### 3.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується поняття посадок, умов їх застосування і розрахунку.

### 3.4 Контрольні запитання

1. Що називається посадкою?
2. Який тип посадок використовується при проектуванні елементів прес-форми?

3. Назвіть вихідні дані для розрахунку посадок для сполучуваних деталей прес-форми.

4. Яку роль відіграє пружна післядія та усадка при розрахунку номінального діаметра матриці?

5. З яких міркувань обирається зазор між сполучуваними деталями прес-форми?

### 3.5 Обладнання, інструменти

1. ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 01.10.2003]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 41 с.

2. ДСТУ ISO 286-2-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів [Чинний від 2004-10-1]. Київ: ПВВ ДП «УкрНДНЦ», 2004. 43 с.

3. Довідкова література.

### 3.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами використання засобів розрахунку та вимірювання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

### 3.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. За вказівкою викладача отримати вихідні дані для розрахунків посадки сполучуваних деталей прес-форми.

2. Провести розрахунок номінального розміру матриці за формулою (3.2) і згідно з основним відхиленням  $H$  і обраним квалітетом за ГОСТ 25347-82 обрати граничні відхилення:  $EI$  та  $ES$ .

3. Обравши згідно з матеріалом виробу зазори  $S_{\min}$  і  $S_{\max}$ , розрахувати відповідні граничні відхилення  $e_i$  і  $e_s$  діаметра пунсона  $d_{p-ei}^{-es}$ :

$$e_s = EI - S_{\min}; \quad (3.3)$$

$$e_i = ES - S_{\max}; \quad (3.4)$$

Уточнити граничні відхилення згідно з ДСТУ ISO 286-2-2002 [12] і обрати для діаметра пуансона стандартні основне відхилення і квалітет.

4. Сформулювати позначення для отриманої пари «пуансон-матриця» (наприклад, Н7/г6).

### **3.8 Зміст звіту**

1. Дати характеристику понять посадки, посадки с зазором та вибору посадки у системі отвору.

2. Навести вихідні дані для розрахунку посадки.

3. Провести поетапні розрахунки, необхідні для вибору оптимальної посадки.

4. Записати позначення посадки згідно з чинним стандартом, а також її мінімальний і максимальний гарантовані зазори.

## **Лабораторна робота № 4**

### **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИРОБНИЦТВА ЛИТИХ ЗАГОТОВОК**

#### **4.1 Мета роботи**

Вивчення технологічних особливостей лиття в піщані форми, кокільного та відцентрового лиття, оцінка якості виливків, що отримано різними методами лиття.

#### **4.2 Загальні відомості**

Ливарне виробництво є одним з головних способів виготовлення заготовок деталей машин. Його продукція – складні вироби з різних сплавів, що отримують заливанням розплавленого металу у ливарну форму, порожнина якої за конфігурацією та розмірами відповідає готовому виливку з урахуванням усадки сплаву.

Серед відомих способів лиття при виробництві заготовок найбільше поширення здобули: лиття в піщані форми (до 80% за масою), кокільне (12...15%), відцентрове, в оболонкові форми, під тиском та за витоплюваними моделями. Кожен метод лиття

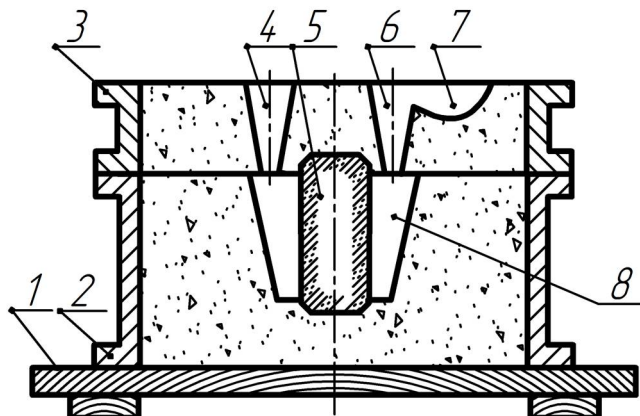
характеризується своїми особливостями, які визначають конфігурацію та розміри виливків, їх якість і собівартість. Ці характеристики – найважливіші критерії при виборі того чи іншого методу виробництва литих заготовок.

Виливки найскладнішої конфігурації отримують литтям у піщані форми та за витоплюваними моделями. Конфігурація та розміри виливків, які виготовляються кокільним, відцентровим литтям, литтям під тиском або в оболонкові форми, суттєво обмежуються низкою технологічних особливостей, у першу чергу конструкцією ливарних форм, можливістю видалення стрижнів та умовами кристалізації виливка у формі.

Якість виливків характеризується головним чином точністю розмірів і геометричної форми, якістю поверхневого шару та відсутністю ливарних дефектів. Значною мірою якість виливків залежить від їх матеріалу і конструкції, матеріалу та якості виготовлення ливарної форми, а також від умов кристалізації в ній металу.

Собівартість виготовлення виливків обумовлюється трудомісткістю виготовлення ливарної форми, заливання, вибивання і очищення виливків, а також типом виробництва, вартістю застосованих формувальних матеріалів, витратами на експлуатацію обладнання та пристроїв. У цій лабораторній роботі аналізуються можливості трьох методів лиття: у піщані форми, кокільного та відцентрового [6].

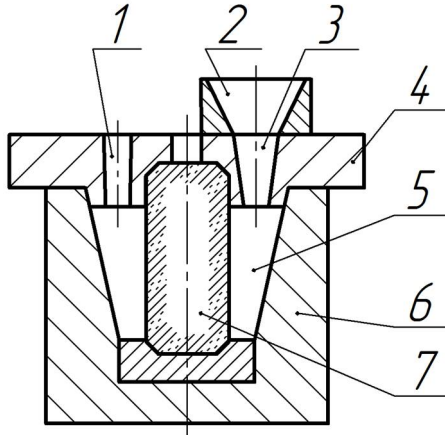
Лиття у піщані форми – найпростіший та найдешевший спосіб лиття. Дешевизна методу полягає у використанні для виготовлення ливарної форми (рис. 4.1) доступних та дешевих матеріалів, а також простого та універсального оснащення – дерев'яного модельного комплексу.



1 – підпокова (або підмодельна) дошка; 2 – нижня опока; 3 – верхня опока;  
4 – випор; 5 - стрижень; 6 – стояк; 7 – литникова чаша; 8 – робоча порожнина  
Рисунок 4.1 – Піщана ливарна форма у зборі

Точність розмірів та форми виливків, як правило, відповідає 14...17 квалітетам, параметр шорсткості –  $R_a = 60...80$  мкм. Це зумовлює підвищені припуски на наступне механічне оброблення. Конфігурація, розміри і маса виливків для даного методу практично не обмежені. Лита заготовка може бути виготовлена з будь-якого ливарного сплаву. Проте цей спосіб виробництва виливків характеризується низькою продуктивністю праці, а розвинена ливникова система та невисока розмірна точність і підвищена шорсткість призводять до значних втрат ливарного сплаву. У зв'язку з цим цей метод зазвичай застосовується у дрібносерійному або одиничному виробництвах.

Кокільне лиття має цілу низку технічних і технологічних переваг у порівнянні з литтям у піщані форми. Металева ливарна форма (рис. 4.2) допускає багаторазове (до десятків тисяч разів) її використання без додаткових витрат на експлуатацію.

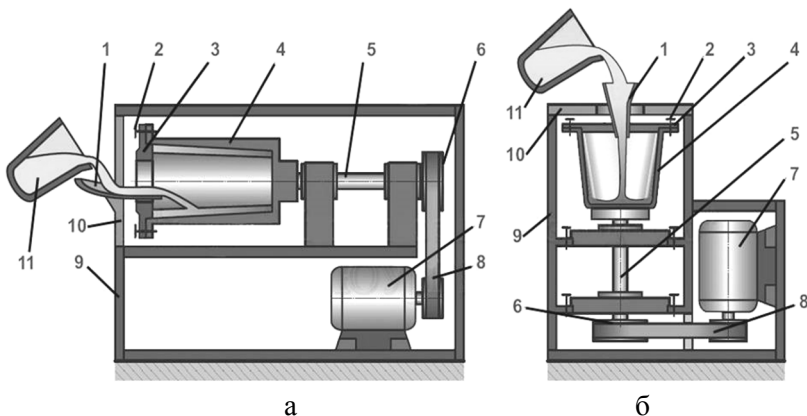


1 – випор; 2 – литникова чаша; 3 – стояк; 4 – кришка; 5 – робоча порожнина;  
6 – корпус кокілю; 7 – стрижень

Рисунок 4.2 - Металева ливарна форма (кокіль)

Висока швидкість охолодження у металевій формі сприяє підвищенню продуктивності лиття, утворенню дрібнозернистої щільної структури сплаву виливка та поліпшенню його фізико-механічних властивостей. Точність виливків значно вища і відповідає 12...15 квалітетам. Поверхня заготовки, виготовленої кокілним литтям, має параметр шорсткості до  $R_a = 5...20$  мкм, що забезпечує значно менші припуски на наступне механічне оброблення. У той же час виготовлення кокілю вимагає більших витрат і тривалішого періоду освоєння. Висока теплопровідність кокілю, дуже малі його піддатливість та газопроникність утруднюють виготовлення складних за конфігурацією та габаритних виливків з розвиненими внутрішніми порожнинами, тонкими стінками, ребрами тощо. Кокілним литтям виготовляють заготовки практично з будь-яких сплавів, крім сплавів, що мають підвищену усадку через можливість утворення внутрішніх дефектів та тріщин.

При відцентровому литті (рис. 4.3) виливки виготовляють у металевих ливарних формах (виливницях), що обертаються навколо своєї осі. Під дією відцентрових сил розплавлений метал розтікається по внутрішній поверхні виливниці.



а  
 б

виливниці: а – з горизонтальною; б – з вертикальною віссю обертання;  
 1 – жолоб; 2 – фіксатори; 3 – кришка; 4 – виливниця; 5 – вал; 6 – шків;  
 7 – двигун; 8 – клинопосава передача; 9 – корпус установки; 10 – дверцята;  
 11 – ливарний ківш з розплавленим ливарним сплавом

Рисунок 4.3 - Схема одержання виливків методом відцентрового лиття

Обертання виливниці припиняється лише після закінчення кристалізації металу. Відцентрові сили сприяють поліпшенню рідиноплинності та підвищенню механічних властивостей металу виливка. За точністю та шорсткістю зовнішньої поверхні заготовок відцентрове лиття аналогічне кокільному. Якість виливків суттєво залежить від частоти обертання форми та температури заливання. Частота обертання виливниці обирається таким чином, щоб, з одного боку, забезпечити правильне формування внутрішньої поверхні виливка, а з другого боку, не викликати у ньому гарячих тріщин. Температура заливання повинна бути близькою до температури кристалізації сплаву для скорочення тривалості кристалізації.

Необхідно враховувати, що при відцентровому литті на внутрішній поверхні виливка збираються легкі неметалеві включення (шлаки, оксиди, пори), які видаляються разом з припуском при механічному обробленні. У зв'язку з цим припуск зовнішніх поверхонь виливків майже у 2 рази менше, ніж внутрішніх. Особливості формування виливків при відцентровому литті зумовлюють конфігурацію заготовок. Як правило, такі заготовки є порожнистими тілами обертання з нескладною фасонною зовнішньою поверхнею: труби, втулки, диски, колеса, шестерні тощо.

### **4.3 Завдання на самостійну підготовку до лабораторної роботи**

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується можливостей згаданих вище способів лиття:

#### **4.4 Контрольні питання**

1. Опишіть суть та технологічні особливості лиття у піщані форми (кокільного, відцентрового лиття).
2. Які Ви знаєте переваги та недоліки лиття в піщані форми (кокільного, відцентрового лиття)?
3. Як впливає швидкість кристалізації виливка на рідиноплинність та механічні властивості металу?
4. Покажіть вплив способу лиття на якість литої заготовки (точність розмірів, шорсткість поверхні).
5. Які дефекти зустрічаються при різних способах лиття?

#### **4.5 Матеріали, інструмент, обладнання**

1. Модельний комплект та інше обладнання, призначенне для виготовлення піщаної ливарної форми, кокіль та установка для відцентрового лиття.
2. Виливки, що отримані литтям у піщано-глинисті форми, кокільним та відцентровим литтям у кількості не менше 3 шт. для кожного методу лиття.
3. Штангенциркулі.
4. Набір еталонів для визначення шорсткості поверхні.
5. Ваги лабораторні.

#### **4.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Перед початком лабораторної роботи уважно прослухати інструктаж з техніки безпеки в лабораторії.
2. Обережно проводити вимірювання виливків, оберігаючи руки від ударів та порізів гострими частинами виливків.
3. Обережно проводити зважування виливків для запобігання травмування рук та ніг.

#### **4.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з модельним комплектом та іншим обладнанням, призначеним для виготовлення піщаної ливарної форми, з конструкцією кокілю та установки для відцентрового лиття. Ознайомитися з кресленням готової деталі (рис. 4.4), заготовки для якої отримують трьома способами лиття, що аналізуються.

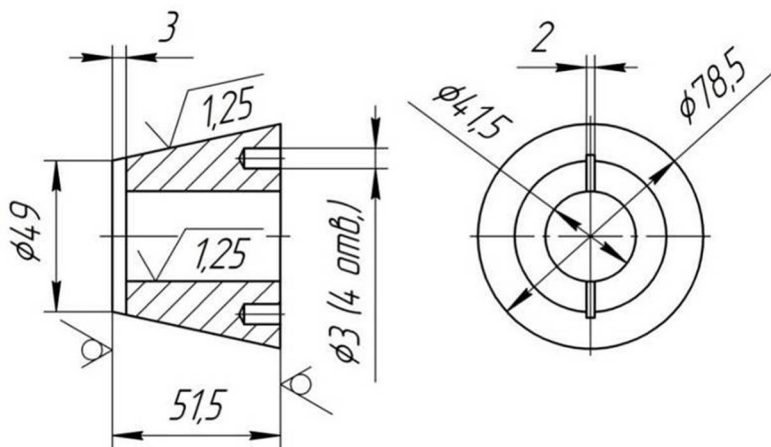


Рисунок 4.4 - Деталь

2. Вивчити головні чинники, що впливають на якість виливків, які виготовляють різними методами лиття: якість модельного комплекту та формувальної суміші, щільність трамбування півформ і складання форми; якість внутрішньої поверхні кокілю, порожнини виливниці та інше.

4. Оцінити якість виливків, отриманих різними способами лиття, для чого:

- зовнішнім оглядом оцінити відповідність готового виливка вимогам креслення (відсутність видимих спотворень конфігурації, ливарних дефектів тощо);

- виміряти зовнішній діаметр  $D$  декількох виливків, виготовлених одним і тим же способом, і скласти точкові діаграми точності для всіх способів лиття, що аналізуються. Для кожної групи заготовок визначити розкид розмірів  $D$  як різницю між максимальним і мінімальним розмірами в цій групі заготовок (крайні точки на відповідних діаграмах точності);

- користуючись еталонами шорсткості, оцінити параметри шорсткості поверхонь виливків, виготовлених різними способами лиття;

- порівняти якість заготовок, виготовлених різними способами, за точністю, шорсткістю та якістю поверхні (наявність ливарних дефектів).

5. Оцінити ефективність отримання виливків для заданої деталі шляхом визначення коефіцієнту використання матеріалу для кожного способу лиття.

#### **4.8 Зміст звіту**

1. Коротко описати суть та технологічні особливості виготовлення виливків литтям у піщані форми, кокільним та відцентровим литтям, супроводжуючи описання ескізами деталі, виливків або відповідних ливарних форм.

2. Описати якість виливків, виготовлених різними способами лиття. Описати вплив якості модельного комплекту, формувальної суміші, ливарної форми (виливниці) на якість виливків.

3. Охарактеризувати точність розмірів (за розкидом їх розміру  $D$ ), шорсткість поверхонь (за параметром шорсткості  $R_a$ ), наявність ливарних дефектів.

4. Визначити коефіцієнт використання матеріалу для кожного способу лиття:  $K_{\text{вм}} = M_{\text{д}}/M_{\text{вм}}$ , де  $M_{\text{д}}$  – маса деталі,  $M_{\text{вм}}$  – маса витраченого металу.

5. Навести висновки по роботі, дати характеристику параметрів, які впливають на вибір оптимального способу лиття.

### **Лабораторна робота № 5**

## **ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК КУВАННЯМ ТА ШТАМПУВАННЯМ**

#### **5.1 Мета роботи**

Вивчення технологічних особливостей виробництва заготовок куванням та об'ємним штампуванням; аналіз якості кованих та штампованих заготовок; визначення впливу попереднього

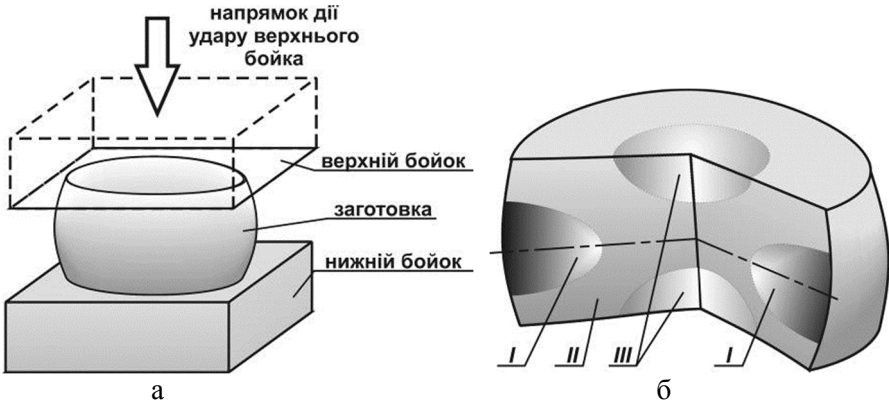
перерозподілу металу на повноту заповнення чистового рівчака штампа та величину відходів при штампуванні.

## 5.2 Загальні відомості

Оброблення металів тиском займає одне з чільних місць серед методів виготовлення заготовок. Воно має високу продуктивність, дозволяє виготовляти складні заготовки з високою точністю та низькою шорсткістю поверхні. Одночасно з процесом формоутворення оброблення тиском змінює структуру металу, покращуючи низку експлуатаційних властивостей готових деталей. Найпоширенішими методами виробництва заготовок обробленням тиском є кування та об'ємне штампування.

При куванні вихідна заготовка деформується шляхом нанесення серії ударів або шляхом натискання універсальним інструментом (*бойком*) до забезпечення заданої форми та розмірів заготовки. Бойки мають плоску робочу поверхню, і плин металу між бойками нічим не обмежується. Точність розмірів та якість поверхні кованих поковок невисокі. У зв'язку з цим коефіцієнт використання матеріалу кованої заготовки не перевищує 0,3...0,5.

Необхідну форму кованої поковки отримують за рахунок послідовного виконання операцій кування: осаджування (рис. 5.1 а), протягування, гнуття, прошивання та інших. При цьому застосовують простий універсальний (плоскі бойки) та допоміжні інструменти. Кування використовується для виготовлення нескладних заготовок практично необмежених розмірів в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва.



I – зона інтенсивного деформування; II – зона деформування проміжної інтенсивності;  
 III – зона утрудненого деформування  
 Рисунок 5.1 - Схема операції кування - осаджування (а); нерівномірність деформування при осаджуванні (б)

Внаслідок коливань енергії удару, температурно-швидкісного режиму деформування, наявності значного контактного тертя під час кування у різних ділянках заготовки отримують неоднакові ступені деформації і як наслідок – неоднорідність властивостей у перерізі поковки. Так, при осаджуванні циліндричних заготовок утворюються три зони деформування (рис. 5.1, б).

Нерівномірність деформування у різних зонах можна оцінити, наприклад, методом штифта. Він полягає у тому, що осаджується зразок із запресованим по осі циліндричним стержнем (штифтом) діаметром  $d_0$  (рис. 5.2, а). Після осаджування зразок розрізають по осі та вимірюють діаметри штифта після деформування  $d_n$  у тих зонах, де необхідно проаналізувати ступінь деформації (рис. 5.2, б). Ступінь деформації  $\varepsilon$  окремих ділянок здеформованого штифта визначається за формулою (5.1):

$$\varepsilon = \frac{d_n - d_0}{d_0} \cdot 100\%. \quad (5.1)$$

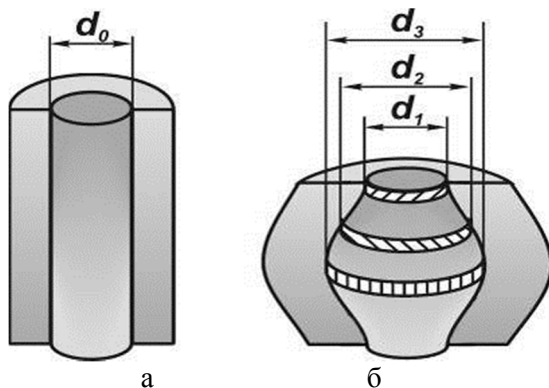


Рисунок 5.2 - Зразок з штифтом до (а) та після (б) осаджування

Зміна механічних властивостей сталі у залежності від ступеня деформації  $\epsilon$  наведена на рис. 5.3.

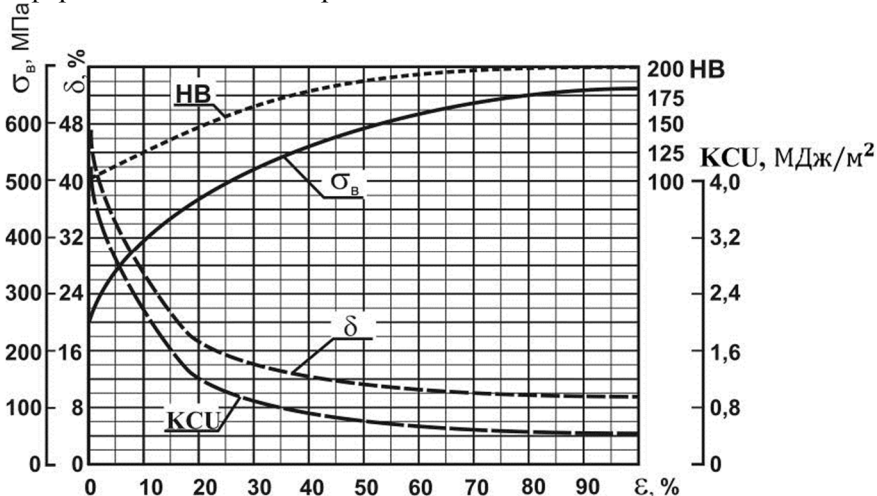
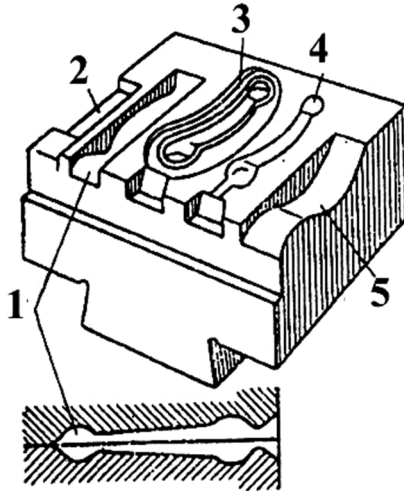


Рисунок 5.3 - Вплив ступеня деформації  $\epsilon$  на механічні властивості низьковуглецевої сталі

Об'ємне штампування - процес виготовлення заготовок з сортового прокату пластичним деформуванням зі значним перерозподілом металу у поперечному перерізі вихідної заготовки. Деформування здійснюється у порожнинах (рівчачах) спеціального інструмента – *штампа*. Конфігурація та розміри рівчачів штампа

зумовлюють форму і точність поковок. Більшість поковок складної конфігурації виготовляють у багаторівчачкових штампах (рис. 5.4), в рівчачках яких відбувається поступове наближення конфігурації заготовки до форми готової поковки.



Рівчачки: 1 – підкатний; 2 – протяжний; 3 – остаточний (чистовий);  
4 – попередній (чорновий); 5 – згинальний

Рисунок 5.4 - багаторівчачков штамп

При штампуванні вся поверхня заготовки одночасно бере участь у процесі деформування, тому точність штампованої заготовки значно вище, ніж кованої. Але неправильно спроектована поковка, а також неправильно обрані розміри вихідної заготовки (прутка) та технологія штампування призводять до нерівномірності деформування, а це у свою чергу – до нерівномірності властивостей штампованої поковки. Крім того, можливі такі дефекти поковки, як недоштампування та завищені розміри облою.

### 5.3 Завдання на самостійну підготовку до лабораторної роботи

1. Підготувати таблиці для запису результатів експериментів при куванні (табл. 5.1) та штампуванні (табл. 5.2).

2. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал з технології, інструментів та обладнання, що використовуються при куванні та штампуванні:

Таблиця 5.1 - Результати експериментів при куванні

№ п/п	Зони за інтенсивністю деформування	Вихідний діаметр штифта, $d_0$ , мм	Діаметр штифта після осаджування $d_n$ , мм	Ступінь деформації $\epsilon$ , %	Механічні властивості			
					Міцність $\sigma_{\text{в}}$ МПа	Пластичність $\delta$ , %	Ударна в'язкість КСУ, МДж/м <sup>2</sup>	Твердість НВ
1	Зона утрудненого деформування	$d_0$	$d_1$					
2	Зона проміжної інтенсивності деформування		$d_2$					
3	Зона інтенсивного деформування		$d_3$					

Таблиця 5.2 - Результати експериментів при штампуванні

Номер зразка	Вихідна заготовка			Маса заготовки (поковки) $M_3$ , г	Маса облою $M_{\text{об}}$ , г	Коефіцієнт виходу придатного $K_{\text{в.п.}}$	Якість заповнення ривчака (повне чи не повне)
	діаметр $d$ , мм	довжина $l$ , мм	маса вихідного матеріалу $M_{\text{в.в}}$ , г				
1	18	60					
2	18	90					
3	20	80					
4	22	60					

#### 5.4 Контрольні питання

1. Як впливає оброблення металів тиском на структуру і фізико-механічні властивості металу?

2. Опишіть суть та призначення процесу кування.
3. Як впливає контактне тертя на процес деформування заготовки при куванні?
4. Опишіть суть та призначення об'ємного штампування.
5. Яка роль підготовчих та чистових рівчаків при штампуванні видовжених поковок?
6. Порівняйте якість кованих і штампованих заготовок.

### **5.5 Матеріали, інструмент, обладнання**

1. Молот пневматичний з масою частин, що падають, 150 кг.
2. Експериментальний штамп для об'ємного штампування на молоті.
3. Кліщі ковальські.
4. Горн ковальський.
5. Ніж для обрізання облою.
6. Ваги лабораторні.
7. Штангенциркуль.
8. Зразок з штифтом.
9. Зразок (пруток) сталевий діаметром 15...20 мм.
10. Зразки циліндричні свинцеві з розмірами, наведеними у табл. 5.2.

### **5.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. При нагріванні зразків у горні та виконанні операцій кування треба користуватися ковальськими кліщами.
2. Вимірювання розмірів кованого зразка проводити після повного охолодження.
3. При виконанні операцій кування і штампування необхідно, щоб руки знаходилися поза робочим простором бойків і штампа.

### **5.7 Порядок виконання роботи**

1. Провести аналіз технології кування та кованих поковок, для чого:
  - ознайомитися з будовою та принципом дії пневматичного молота;
  - для аналізу деформування зразка при куванні методом штифта визначити діаметр штифта до деформування  $d_0$  і провести

осаджування зразка. Визначити діаметр штифта після деформування  $d_n$  у трьох зонах перерізу зразка, як показано на рис. 5.2, б. Для кожної зони визначити ступінь деформації  $\varepsilon$ , після чого за рис.5.3 знайти значення механічних властивостей, які відповідають визначеним значенням  $\varepsilon$ .

Отримані характеристики занести у табл. 5.1. Оцінити нерівномірність властивостей різних ділянок поковки. Запропонувати заходи для зменшення (або уникнення) такої нерівномірності.

2. Провести аналіз технології об'ємного штампування та отриманих штампованих поковок, для чого:

- ознайомитися з конструкцією експериментального штампа;
- у вихідних зразків відтягнути кліщовину і визначити масу зразків  $M_{\text{вм}}$ ;
- проштампувати зразки № 1, 3 в остаточному рівчаку, а зразки № 2, 4 – спочатку у підкатному, а потім в остаточному рівчаках (див. рис.5.4).

Оглядом кожного зразка оцінити ступінь заповнення металом порожнини остаточного рівчака. Зрізати на поковках облой, визначити масу поковки  $M_3$  та коефіцієнт виходу придатного  $K_{\text{вп}} = M_3/M_{\text{вм}}$  для кожної поковки. Результати зважувань та розрахунків занести у табл. 5.2.

Проміряти фактичний розмір зразка у п'яти перерізах і скласти точкову діаграму точності. Оцінити точність зразків за розкидом розмірів  $D$ .

### 5.8 Зміст звіту

1. Коротко описати суть і технологічні особливості кування. Зробити ескіз зразка після осаджування (рис. 5.1 б) і вказати на ньому зони, для яких визначається ступінь деформації  $\varepsilon$ . Отримані результати навести у табл. 5.1.

2. Накреслити точкову діаграму точності зразка після кування, визначити отриманий розкид розмірів  $D$ .

3. Навести висновки про нерівномірність властивостей, точність розмірів і якість поверхні кованої заготовки.

4. Коротко описати суть і технологічні особливості об'ємного штампування. Навести табл. 5.2 з результатами експериментів.

5. Узагальнити результати роботи і зробити висновки про вплив вибору розмірів вихідної заготовки на якість штампованої поковки, вплив ступеню деформації на властивості заготовки. Зробити висновки за точністю розмірів та про вплив вибору форми і розмірів вихідної заготовки на якість штампованої поковки.

## Лабораторна робота № 6

### ВИРОБНИЦТВО ЗАГОТОВОК РІЗАННЯМ З ПРУТКА

#### 6.1 Мета роботи

Вивчення головних способів різання пруткових матеріалів, їх порівняльна оцінка за основними показниками якості (час різання, точність відрізаних заготовок за довжиною, якість поверхні розрізу, витрати металу при різанні).

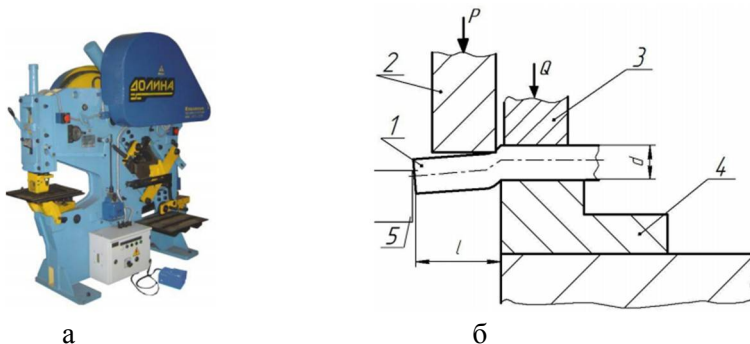
#### 6.2 Загальні відомості

Заготовкою для значної кількості деталей машин є безпосередньо прокат без наступного деформування. Крім того, прокат використовується як вихідна заготовка для виробництва кованих, штампованих або зварних заготовок. У цьому випадку виникає необхідність розрізання прокату відповідного профілю (круглий, штабовий і т.п.) на заготовки необхідної довжини.

Кожен з існуючих способів різання характеризується сукупністю параметрів, головними з яких є: продуктивність різання та точність заготовки за розмірами; якість поверхні розрізу; спотворення поперечного перерізу заготовки після різання; втрати металу під час різання; стійкість та вартість різального інструменту та інше.

Різнання на сортових ножицях (рис. 6.1) полягає у тому, що прокат вручну або автоматично подається до упора, який налаштований на задану довжину  $l$ , притискається зусиллям  $Q$  до нижнього ножа та відрізається при переміщенні верхнього ножа зусиллям  $P$ . Даний спосіб відрізняється високою швидкістю різання (понад 40 м/с), простотою відокремлення заготовки. Але відрізані заготовки мають порівняно велику довжину ( $l/d \geq 1,0 \dots 1,5$ ). На них можливе утворення дефектів: торцевих тріщин, косини зрізу, утяжки і зім'ятини. Ймовірність їх появи збільшується при зниженій

пластичності металу, збільшенні перерізу заготовки, при зберіганні прутків на холоді. Тому сталеві прутки великого діаметра (понад 80 мм) і прутки з малопластичних сталей у місці розрізу підігрівають до 450...650°С. Прутки кольорових сплавів ріжуть у холодному стані.



а

б

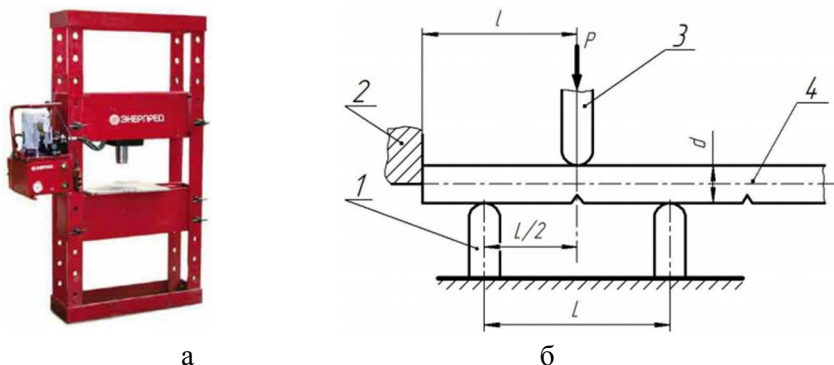
1 – прокат; 2 – верхній ніж; 3 – притискач; 4 – нижній ніж

Рисунок 6.1 - Зовнішній вигляд обладнання (а) та схема різання прокату на сортових ножицях (б)

Різання на сортових ножицях використовують для виробництва заготовок невисокої точності зі сталі та кольорових металів. Діаметр круглого прокату, що може розрізатися, - до 200 мм; число ходів ножа за хвилину - від 20 до 75.

Різання на пресах – холодноламах (рис. 6.2) проводиться після розмітки прутка та нанесення на ньому надрізу. Ширина надрізу 2...3 мм, глибина  $h = \sqrt[3]{d}$ , де  $d$  – діаметр прутка, мм. Надріз роблять кисневим різанням, дисковою пилкою, втисканням спеціального пуансону та іншими способами.

Перевага ламання у холодному стані полягає у малій енергоємності, простоті та довговічності інструмента, у відсутності відходів, можливості різання на короткі заготовки ( $l_{\min} \leq 0,8d$ ). Але цей спосіб непридатний для різання труб, профілів з пластичних металів. До недоліків відноситься нестабільність розмірів заготовки, наявність уступу на торці, можливість утворення торцевих тріщин. У залежності від потужності устаткування для ламання (зазвичай - гідропреса) ріжуть заготовки діаметром від 50 до 350 мм.



1 – опора; 2 – упор; 3 – штовхач; 4 – заготовка-прокат  
 Рисунок 6.2 - Зовнішній вигляд пресу - холодноламу (а) та схема різання прокату на холодноламі (б)

Привідні ножівки (рис. 6.3 а) розрізають прутки, труби, профілі ножівковим полотном (рис. 6.3 б), яке робить зворотньо-поступальні рухи від механічного приводу. Швидкість різання для вуглецевих сталей становить 20...30 м/хв.; ширина розрізу - 2,5...4,0 мм. На привідних ножівках ріжуть сталеві, латунні, бронзові заготовки діаметром до 150 мм. У зв'язку з невисокою продуктивністю і точністю за довжиною заготовки різання на привідних ножівках використовують в одиничному та дрібносерійному виробництвах.

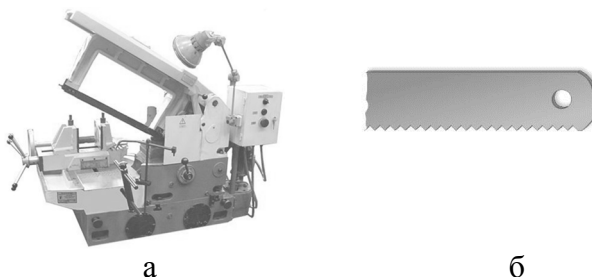


Рисунок 6.3 - Зовнішній вигляд обладнання - привідної ножівки (а) та інструмента – ножівкового полотна (б)

Різання зубчастими пилками (дискowymi або стрічковими) забезпечує високі якість розрізу і точність заготовки за довжиною. *Дискова пилка* на відрізному круглопилному верстаті (рис. 6.4, а)

становить диск діаметром 300...2000 мм і 2...15 мм завтовшки з різальними зубами (рис. 6.4, б), що мають спеціальне загострення. За її допомогою можна розрізати прокат з чорних та кольорових металів діаметром до 600 мм при розрізі 4...15 мм завширшки. При цьому можливе відрізання точних і коротких заготовок без зміцнення металу у приторцьових зонах; можна різати різні за конфігурацією перерізів прутки без зміни інструменту. Швидкість різання залежить від механічних властивостей матеріалу прутків, і для сталей становить 6...30 м/хв. Головний недолік цього способу різання – відносно висока вартість дискових пилок, низька продуктивність, значні витрати металу на розріз.

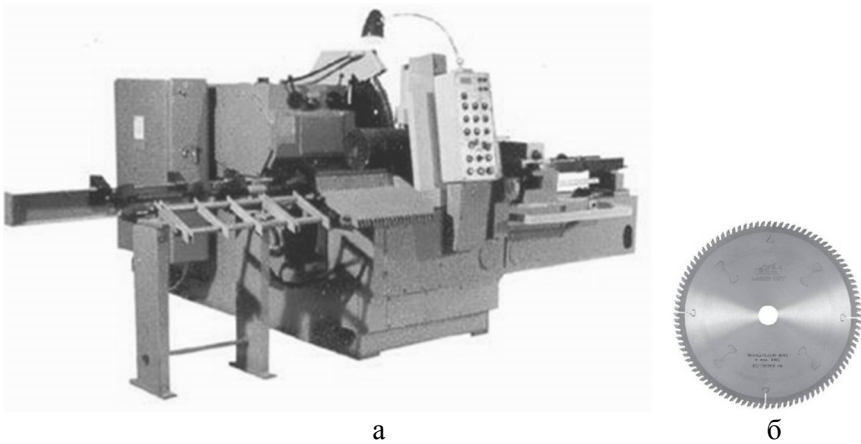


Рисунок 6.4 - Зовнішній вигляд відрізного круглопилкового верстата (а) та інструмента – дискової пилки (б)

*Стрічкові пилки*, що встановлюються на стрічкопилкових верстатах (рис. 6.5, а), становлять «нескінченні» зубчасті стрічки завтовшки 0,6...3,0 мм (рис. 6.5, б). Їх застосування забезпечує малі витрати металу на розріз, який може бути 0,8...3,2 мм завширшки. Стрічкові пилки використовують для різання сталевих заготовок (діаметром до 500 мм), а також мідних та алюмінієвих сплавів. Швидкість різання залежить від матеріалу заготовки. Наприклад, для сталі вона становить 15...90 м/хв., а для мідних сплавів – 90...240 м/хв. Широкого застосування стрічкові пилки не отримали через порівняно високу вартість інструмента (стрічкового полотна).

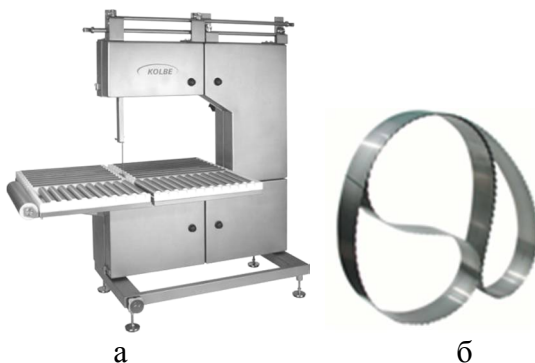


Рисунок 6.5 - Зовнішній вигляд обладнання - стрічкопилного верстата (а) та інструмента - стрічкового полотна (б)

Різання абразивними кругами застосовується при розрізанні на заготовки сортового прокату, труб, профілів з високоміцних матеріалів (наприклад, загартованих сталей). Інструментом є абразивні круги (як правило, на вулканитовій зв'язці) діаметром 300...600 мм і 0,5...4,0 мм завтовшки (рис. 6.6 а).

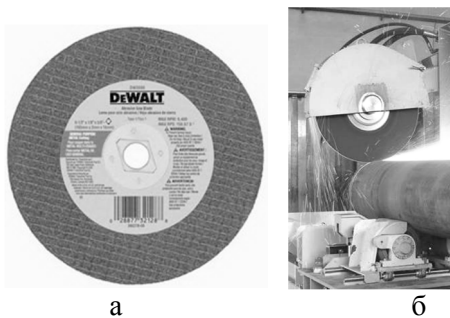
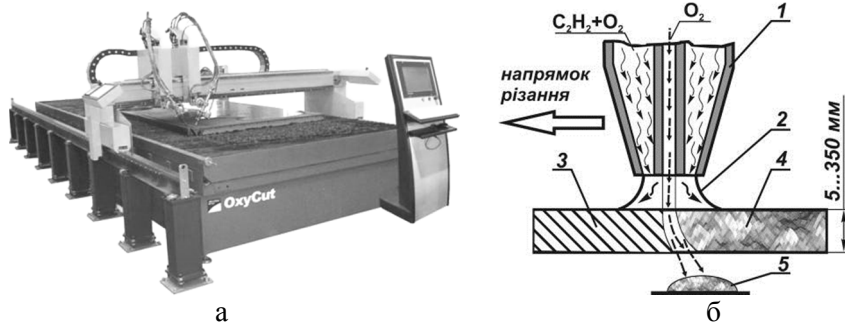


Рисунок 6.6 - Зовнішній вигляд інструмента - абразивного круга (а) та обладнання – абразивно-відрізного верстата (б)

На абразивно-відрізних верстатах (рис. 6.6, б) розрізають круглий прокат діаметром до 200 мм та труби діаметром до 600 мм. Швидкість різання - до 100 м/с. Перевагою абразивного різання є висока точність заготовок, мала шорсткість поверхні розрізу, висока

продуктивність. До недоліків способу відносяться шум під час праці, виділення великої кількості пилю, швидке зношування і висока вартість абразивного інструменту.

Газокисневе різання проводиться як вручну, так і на спеціальних машинах (рис. 6.7, а) і застосовується для різання листів, штаб, зливків, сортового прокату, а також для вирізання з листів фасонних заготовок. Воно ґрунтується на здатності металу, нагрітого до температури займання, загорятися у струмені технічно чистого кисню з виділенням значної кількості тепла (рис. 6.7, б). Успішний перебіг процесу різання залежить від низки умов, які визначаються фізико-хімічними властивостями металу, що розрізається. У зв'язку з цим газокисневим різанням ріжуть, головним чином, вуглецеві та низьколеговані сталі з вмістом вуглецю до 0,7%.



а  
б

1 – мундштук газокисневого різача; 2 – підігрівальне полум'я; 3 – метал, що розрізається; 4 – поверхня розрізу; 5 – продукти згоряння (шлаки)

Рисунок 6.7 - Зовнішній вигляд обладнання – машини для газокисневого різання листових заготовок (а) та схема газокисневого різання (б)

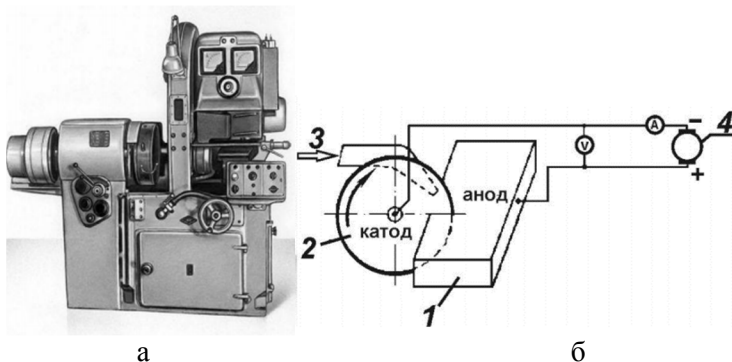
Різання високолегованих сталей, чавунів, кольорових металів та їх сплавів утруднене або практично неможливе. Для різання деяких видів легованих сталей використовують газофлюсове різання, під час якого у зону різання разом з різальним киснем подається спеціальний порошкоподібний флюс, який сприяє виділенню більшої кількості тепла у зоні різання.

Товщина прокату для газокисневого різання звичайно становить 5...350 мм. Похибка розмірів заготовки може досягати 1,5...5,0 мм, а ширина розрізу – 2...8 мм. Якість поверхні розрізу низька, з великою кількістю напливів, макронерівностей. Товщина дефектного шару

може становити декілька міліметрів. Продуктивність газокисневого різання залежить значною мірою від товщини металу, що розрізається, геометрії лінії розрізу (пряма або криволінійна). При товщині прокату 10...15 мм швидкість різання становить 0,25...0,70 м/хв., при товщині 50...250 мм вона знижується до 0,12...0,25 м/хв., а при товщині понад 250 мм швидкість різання не перевищує 0,10...0,12 м/хв.

Різання прутків та зливків на анодно-механічних верстатах здійснюється дисковими чи стрічковими катодами з низьковуглецевої сталі. Інструмент дешевий, легко виготовляється. Швидкість різання 10...25 мм/хв, ширина розрізу – 0,5...2,5 мм. На рис. 6.8 наведено схему анодно-механічного різання металу, на основі якої побудовані різні верстати такого типу. Рухомий інструмент 2 (наприклад, металевий диск, катод) разом з прутком - заготовкою 1 (анод) знаходяться у середовищі електроліту. Під дією струму у розрізі утворюється плівка продуктів анодного розчинення, яка безперервно видаляється інструментом.

Разом з тим інструмент усуває з розрізу дрібні частинки металу, оплавленого тепловими імпульсами внаслідок дії електричного струму. Як електроліт застосовується водний розчин рідкого скла.



1 – оброблювана заготовка; 2 – інструмент; 3 – подача електроліту;  
4 – генератор постійного струму

Рисунок 6.8 - Верстат для анодно-механічного різання (а); схема анодно-механічного різання металу (б)

Інтенсивність різання залежить від електричних та механічних режимів верстата і становить 2000...6000 мм<sup>3</sup>/хв. З підвищенням інтенсивності різання знижується точність та чистота поверхні розрізу. Анодно-механічне різання застосовують для різання твердих

чи занадто в'язких металів і сплавів (нікелеві, хромонікелеві сплави). Анодно-механічні верстати порівняно дорогі, потребують кваліфікованої експлуатації.

### 6.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Підготувати таблицю 6.1 для запису результатів експериментів.

2. При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується технології, інструментів та обладнання, яке використовується при різанні виробів прокату:

Таблиця 6.1 – Результати експерименту

№ п/п	Спосіб різання	Діаметр прокату $d$ , мм	Довжина відрізаної заготовки $l$ , мм	Похибка різання $\Delta l = l - l_0$ , мм	Час різання $\tau$ , с	Шорсткість поверхні розрізу $R_a$ , мкм	Об'єм металу, витраченого на розріз $V$ , мм <sup>3</sup>
1	На сортових ножицях						
2	На привідній ножівці						
3	Дисковою пилкою						
4	Газокисневе різання						
5	Абразивним кругом						

### 6.4 Контрольні питання

1. Чим характеризується якість різних способів різання?
2. У чому суть різання на сортових ножицях, пресах-холодноламах і яка якість отриманих цими способами заготовок?
3. Опишіть якість заготовок, які отримують різанням дисковими та стрічковими пилками?
4. Порівняйте якість заготовок, отриманих різанням дисковими пилками та абразивними кругами.

5. У чому суть та технологічні особливості газокисневого різання?

6. Які зміни властивостей металу відбуваються у торці заготовки при різних способах різання?

### **6.5 Матеріали, інструменти та обладнання**

1. Сортові ножиці.
2. Привідна ножівка.
3. Горизонтально-фрезерний верстат.
4. Установка для різання абразивними кругами.
5. Установка для газокисневого різання.
6. Верстат для анодно-механічного різання.
7. Ножівкове полотно.
8. Дискова фреза діаметром 150 мм.
9. Штангенциркуль.
10. Лінійка.
11. Секундомір.
12. Набір еталонів для визначення шорсткості поверхні.
13. Пруток сталевий діаметром 10...30 мм.

### **6.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. При різанні на сортових ножицях вчасно прибирати руки з робочого простору ножиць.

2. При різанні на механічних установках перевірити міцність закріплення прутка, що розрізається, у машинних лещатах.

3. При різанні прутка дисковою фрезою або абразивним кругом забороняється стояти у площині обертання фрези (круга).

4. Всі вимірювання проводити після повної зупинки механічного обладнання.

5. При газокисневому різанні необхідно обережно поводитися з кисневим та ацетиленовим балонами, не допускаючи їхнього перегрівання, ударів та попадання мастил на кисневий балон.

### **6.7 Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з наявним обладнанням для різання заготовок: газокисневий різак, сортові ножиці, привідна ножівка,

горизонтально-фрезерний верстат, установка для різання абразивними кругами.

2. Отримати пруток для різання, виміряти його діаметр  $d$ , провести розмітку заготовок на задану викладачем довжину  $l_0$ .

3. Підготувати відповідне обладнання для різання. Провести різання заготовок всіма способами, що вивчаються, фіксуючи фактичний розмір заготовки  $l$ , час різання  $\tau$  та ширину розрізу  $b$ .

4. Оцінити точність розмірів отриманих заготовок (похибку  $\Delta l$ ), якість поверхні розрізу  $R_a$  і витрати (об'єм) металу в зоні розрізу  $V$  для кожного способу різання. Результати вимірювань та розрахунків занести у табл. 6.1.

### **6.8 Зміст звіту**

1. Коротко описати суть, головні особливості вивчених способів різання з наведенням необхідних ескізів.

2. Навести таблицю 6.1 з результатами вимірювань та розрахунків.

3. Зробити висновки, визначивши кращі способи різання за продуктивністю, точністю розмірів заготовки, шорсткістю поверхні розрізу та витратами металу.

## **Лабораторна робота № 7**

### **ВПЛИВ СПОСОБУ ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ**

#### **7.1 Мета роботи**

Аналіз впливу технологічних методів виробництва заготовок на механічні властивості металу; кількісна оцінка механічних властивостей металу у різних ділянках заготовки.

#### **7.2 Загальні відомості**

Властивості металу залежать не лише від хімічного складу (марки) сплаву, але й від методу його попереднього оброблення (від технологічної спадковості) [7]. Різні методи виробництва заготовок мають свої засоби впливу на вихідний матеріал, що веде до утворення нових структур, зміни хімічного складу у поверхневому шарі,

виникненню тих чи інших дефектів. Тому з одного і того ж матеріалу можна виготовити заготовки з різними фізико-механічними властивостями. Як відомо, найчастіше заготовки виготовляють литтям, холодним або гарячим обробленням металів тиском та зварюванням.

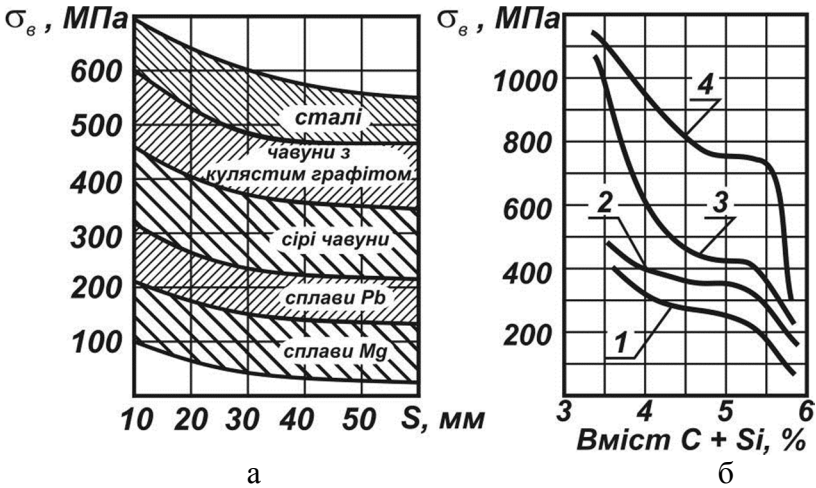
Литі заготовки характеризуються неоднорідністю структури і механічних властивостей металу у різних частинах виливка. Це спричиняється неоднаковими умовами їх кристалізації та охолодження. Ступінь неоднорідності структури сплаву певного хімічного складу залежить головним чином від швидкості охолодження даної частини заготовки, тобто власне від товщини стінки виливка у цьому місці, від конструкції та матеріалу ливарної форми, способу її охолодження.

Поверхневі шари металу кристалізуються з більшою швидкістю і мають більш дрібнозернисту структуру, ніж центральна частина виливка. Чим товстіша стінка заготовки, тим більша різниця у швидкості твердіння, а отже й у розмірах зерен на її поверхні та в осерді. Тому збільшення товщини стінки литої заготовки не супроводжується пропорційним збільшенням її міцності (рис. 7.1, а). Вплив способу лиття, а отже й умов кристалізації та охолодження чавунних виливків у ливарній формі показаний на рис. 7.1, б.

Кокільне лиття відрізняється порівняно великою швидкістю охолодження, що разом з деякими позитивними факторами призводить до збільшення нерівномірності структури. Наприклад, у поверхневих шарах чавунних виливків може відбуватися вибілювання, а у сталевих - гартування. Первинна структура литого металу може бути покращена термічним обробленням (відпалюванням), але усунути неоднорідність структури повністю майже неможливо.

При виробництві заготовок обробленням металів тиском відбувається значна зміна структури металу та його фізико-механічних властивостей у залежності від температурно-швидкісного режиму деформування.

В умовах холодного оброблення тиском зі збільшенням ступеня деформування зростають твердість і міцність металу, зменшується пластичність (рис. 7.2) – з'являється наклеп. Холодним деформуванням можна значною мірою (у 2...3 рази) підвищити границі міцності та плинності металу.

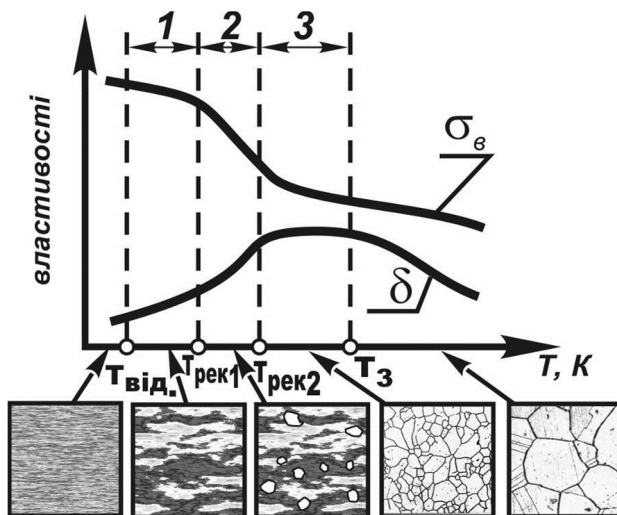


1 - лиття у піщані форми з наступним відпалюванням; 2 – кокільне лиття з наступним відпалюванням; 3 – кокільне лиття з гартуванням та відпусканням; 4 – лиття у піщані форми з гартуванням та відпусканням

Рисунок 7.1 - Залежність границі міцності  $\sigma_v$  ливарних сплавів від товщини стінки  $S$  виливків (а) та вплив способу лиття на механічні властивості чавунних виливків (б)

Спотворення кристалічної будови металу під час холодного пластичного деформування веде до термодинамічної нестійкості металу. При нагріванні здеформованого металу відбуваються процеси, які намагаються повернути всі його властивості у вихідний стан, тобто до тих параметрів, які були до деформування (див. рис. 7.2).

При нагріванні деформованого металу до температури  $T_{\text{від}} = (0,2 \dots 0,3)T_{\text{пл}}$  (де  $T_{\text{пл}}$ , - температура плавлення металу у К) відбувається усунення деяких дефектів кристалічної ґратки. Міцність ( $\sigma_v$ ) дещо зменшується, пластичність ( $\delta$ ) підвищується. Це явище називається відновленням. При температурі  $T_{\text{рек1.}} = (0,4 \dots 0,6)T_{\text{пл}}$  починається процес первинної рекристалізації, який полягає в утворенні та зростанні рівноважних зерен з неспотвореною кристалічною ґраткою. При температурі  $T_{\text{рек2.}}$  відбувається збірна рекристалізація зерен. При цьому наклеп практично повністю знімається, і властивості металу наближаються до вихідних.



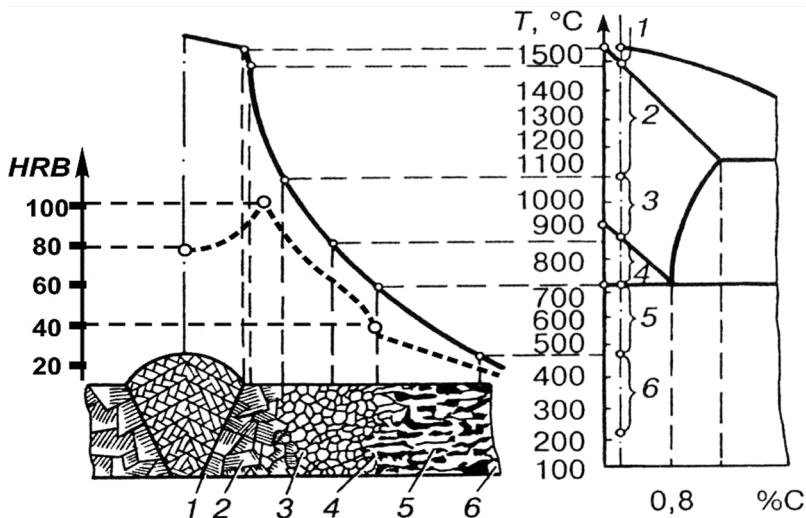
Температурні діапазони відповідають режимам термооброблення:

1 – відновленню; 2 – первинній (неповній) рекристалізації; 3 – збірній (повній) рекристалізації

Рисунок 7.2 - Вплив нагрівання на структуру і властивості металу, зміщеного холодним деформуванням

Перегрівання до температури  $T_3 > 0,8 T_{пл}$  спричиняє утворення занадто великих зерен, внаслідок чого зменшується міцність і особливо пластичність металу. Треба мати на увазі, що рекристалізація не усуває спрямованого розташування міжзерених неметалевих включень (волокнистості структури), тому і після рекристалізаційного відпалювання, і після гарячого деформування у металі спостерігається деяка анізотропія властивостей, особливо показників пластичності, в'язкості та втомної витривалості.

При виробництві зварних заготовок зміна властивостей відбувається у зварному шві та у зоні термічного впливу – ділянці основного металу, яка межує зі зварним швом і структура та властивості якої змінилися внаслідок нагрівання при зварюванні та наступному охолодженні. Механічні властивості зварного шва (центральна частина рис. 7.3) відрізняються від властивостей основного металу заготовки у зв'язку зі зміною його хімічного складу та з підвищеною швидкістю охолодження шва.



1 – зона сплавлення; 2 – зона перегріву; 3 – зона нормалізації; 4 – зона неповної рекристалізації; 5 – зона перекристалізації; 6 – зона синьоломкості

Рисунок 7.3 - Розподіл максимальних температур і твердості у варному шві та різних ділянках зони термічного впливу при зварюванні

Властивості зони термічного впливу (зони 1 – 6 рис. 7.3) змінюються залежно від відстані її ділянки від зварного шва, а отже від температури нагрівання при зварюванні та швидкості подальшого охолодження. Ширина зони термічного впливу обмежується ділянкою з температурою близько 100°C (зона 6 рис. 7.3) і у залежності від хімічного складу, товщини металу і способу зварювання може становити від 1 до 40 мм.

### 7.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Підготувати таблицю 7.1 для запису результатів експериментів.

2. При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал щодо конструктивних матеріалів, які використовуються при литті, обробленні тиском та зварюванні, властивостей цих матеріалів та впливу на них згаданих вище технологічних процесів.

Таблиця 7.1 – Результати експериментів

Параметр		Спосіб виготовлення зразків (заготовок)			
		Лиття	Гаряче прокатування	Холодне кування	Зварювання
Випробування на розтяг	$F_0, \text{M}^2$				
	$l_0, \text{мм}$				
	$F_K, \text{M}^2$				
	$l_K, \text{мм}$				
	$P_B, \text{Н}$				
	$\sigma_B, \text{МПа}$				
	$\delta, \%$				
	$\psi, \%$				
Випробування на ударну в'язкість	$F_H, \text{M}^2$				
	$KU, \text{кДж}$				
	$KCU, \text{кДж/м}^2$				
Твердість за Роквеллом, HRB					

#### 7.4 Контрольні запитання

1. Як змінюються властивості заготовки при виготовленні її різними методами (литтям, обробленням тиском, зварюванням)?
2. Як впливає спосіб виготовлення заготовки на її оброблюваність різанням?
3. Як впливають матеріал і конструкція ливарної форми та умови її охолодження на властивості литих заготовок?
4. Як змінюється міцність литої заготовки зі збільшенням товщини її стінок?
5. Як змінюються структура та властивості металу при холодному пластичному деформуванні?
6. Чи змінюються властивості металу при гарячому пластичному деформуванні?

7. Що таке зона термічного впливу зварного з'єднання?
8. Як змінюються властивості металу по поперечному перерізу зварного з'єднання?

### **7.5 Матеріали, інструмент, обладнання**

1. Універсальна розривна машина.
2. Маятниковий копер для випробування на ударну в'язкість.
3. Твердомір ТК-2.
4. Штангенциркуль.
5. Зразки для випробування на розтяг зі сталі 10, отримані литтям, з гарячекатаного та холоднокованого прутків – по 3 шт. кожного виду.
6. Зразки для випробування на розтяг з тієї ж марки сталі, вирізані зі звареного встик прутка (з розташуванням шва посередині) – 3 шт.
7. Зразки для випробування на ударну в'язкість з тієї ж марки сталі: литі, з прутків гарячекатаного та холоднокованого, а також зварені встик з розташованим посередині шва надрізом – по 3 шт. кожного виду.
8. Зварний зразок зі сталі 20 для аналізу розподілу твердості по зварному з'єднанню – 1 шт.

### **7.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. При вимірюванні твердості уникати знаходження рук поблизу індентора твердоміра.
2. При роботі на маятниковому копрі встановлювати зразки на копер лише за допомогою спеціального пристрою.

### **7.7 Порядок виконання роботи**

1. Провести вимірювання розмірів зразків для випробувань на розтяг та ударну в'язкість. Визначити вихідні розміри: довжину  $l_0$ , площини поперечного перерізу  $F_0$  (зразки на розтяг) та  $F_n$  (зразки на ударну в'язкість).
2. Для кожної з чотирьох груп зразків (литі, гарячекатані, проковані у холодному стані, зварні) провести випробування та визначити середні значення:

- границі міцності  $\sigma_b$ , відносного видовження  $\delta$  та відносного звуження  $\psi$  після розірвання;
- ударної в'язкості KCU;
- твердості HRB.

3. Отримані дані занести у табл. 7.1.

4. Визначити твердість у декількох точках за перерізом зразка (п. 8 підрозділу 4.5) на ділянці довжиною 15...20 мм., починаючи з середини зварного шва. За результатами вимірювань побудувати криву розподілу твердості (аналогічно рис. 7.3).

5. Зробити висновки, порівнявши міцність, пластичність, ударну в'язкість чотирьох груп випробуваних зразків та проаналізувати розподіл твердості по поперечному перерізу зварного зразка.

### **7.8 Зміст звіту**

1. Коротко описати можливі зміни властивостей матеріалу заготовок, виготовлених литтям, гарячим або холодним обробленням тиском та зварюванням.

2. Навести табл. 7.1 з результатами вимірювань і розрахунків.

3. Накреслити криву розподілу твердості по поперечному перерізу зварного зразка.

4. Навести висновки по роботі про вплив способів виготовлення заготовок на їх механічні властивості.

## **Лабораторна робота № 8**

### **ОЦІНКА ДЕФЕКТІВ ПОРОШКОВОГО ВИРОБУ**

#### **8.1 Мета роботи**

Ознайомитися з видами дефектів порошкових виробів, причинами їх виникнення та способами запобігання тих чи інших дефектів.

#### **8.2 Загальні відомості**

Якість порошкового виробу залежить від його конфігурації, складу і властивості порошків, що складають виріб, та технологічного процесу виготовлення. Найважливішими причинами виникнення

дефектів при виробництві порошкових деталей є порушення технології пресування та спікання.

**Мета пресування** – отримання виробу із заданою щільністю. Під дією зовнішніх сил ущільнення виробу починається з обертання та переміщення частинок порошку у найближчі пори. Переміщення частинок в об'ємі пресовки відбувається нерівномірно. Спочатку переміщення здійснюється у зоні, яка контактує з елементами прес-форми, а потім поширюється у глиб виробу. По досягненні максимального упакування починається руйнування та подрібнення виступів на поверхні частинок, після чого – деформування самих частинок. Тобто, найважливішими процесами при пресуванні є подолання тертя між частинками порошку та між частинками і стінками прес-форми, а також їх деформування. Чим пластичніший метал порошку, тим у більшому ступені ущільнення відбувається за рахунок деформування частинок. У виробів з малопластичних металів стадії ковзання і деформування розмежовані чіткіше.

Для отримання якісного виробу важливо при пресуванні отримати рівномірний розподіл щільності по об'єму пресовки. Нерівномірність розподілу щільності по об'єму пресовки пов'язана з наявністю тертя. Щільність падає по висоті брикету у напрямку пресування, особливо, якщо його висота значно перевищує діаметр (поперечний розмір). Причинами нерівномірності можуть бути неякісна підготовка шихти, неправильна конструкція прес-форми, порушення режиму пресування і випресовування виробу. Для зменшення тертя та підвищення рівномірності розподілу щільності по об'єму брикету у деяких випадках застосовують мастила (наприклад, стеаринову і олеїнову кислоти, полівініловий спирт, гліцерин, парафін та ін.).

Найпоширенішим та найнебезпечнішим видом **браку при пресуванні** є **поперечні та діагональні тріщини**. Головними факторами, які викликають утворення цього виду дефектів є:

- плоска форма частинок порошку, їх наклеп чи помітне окиснення; введення у шихту завеликої кількості мастила;
- завеликий тиск пресування, особливо для твердих і крихких матеріалів;
- неправильна конструкція прес-форми і пов'язаний з цим перекид у процесі пресування та нерівномірне скидання тиску;

– наявність у виробі тонких стінок або різких переходів за товщиною.

**Розшарування** – порожнинна тріщина, перпендикулярна напрямку пресування – виникає з-за завищеного тиску пресування і великого пружного деформування матриці. Причиною розшарування може бути також пружна післядія, якщо брикет занадто тривалий час після випресування не піддається спіканню.

**Брак за розмірами** залежить від неправильної конструкції та розмірів прес-форми, неточності дозування порошку, порушення режиму пресування.

**Відколи і осипання** на торцях виробу, утворення **задирок** пов'язані з поганим обробленням торців пуансонів або зі зношуванням їх торцевих крайок. Осипання граней виробу може виникнути при відсутності у кінці вихідного каналу матриці конусу, що розширюється.

Брак при пресуванні важко виявити на неспечених пресовках. Він найчастіше виявляються лише після спікання (жолоблення або спотворення форми). Брак при пресуванні звичайно становить 2...3% кількості виробів. Браковані вироби до спікання можуть бути подрібнені, а отриманий порошковий матеріал можна використати повторно.

**Мета спікання** – перетворення неміцного брикету, спресованого з порошків, у міцне спечене тіло з властивостями, які наближаються до властивостей компактного матеріалу. У процесі спікання відбуваються складні процеси, в результаті яких між частинками металевих порошків утворюються зв'язки на атомному рівні. Зовні спікання проявляється у зміні розмірів тіла, що спікається, зокрема в усадці.

На хід і ефективність спікання впливає багато чинників. Інтенсивність процесу спікання залежить від контактної поверхні частинок порошків, і вона тим більше, чим менше їх розмір. Тобто, зі збільшенням дисперсності порошків процес спікання прискорюється. Щільність спечених виробів зростає з підвищенням температури спікання. Витримка спресованого виробу при постійній температурі спікання викликає спочатку швидке, потім повільне зростання щільності. Максимальна щільність досягається за досить короткий час витримки. Результат спікання суттєво залежить від середовища, в якому проводиться спікання. Більша щільність досягається при

спіканні у відновлювальній атмосфері або у вакуумі. У деяких випадках в атмосферу спікання додають спеціальні сполуки (наприклад, пару галогенідів), які активізують процес спікання.

При спіканні деяких сплавів, отримуваних з металевих порошків, може утворюватися рідка фаза. Це відбувається у випадках, коли у склад шихти входять легкоплавкі компоненти або коли при нагріванні утворюються евтектики. Характерною рисою спікання за участю рідкої фази є більша ступінь ущільнення у порівнянні зі спіканням у твердому стані. При вмісті рідкої фази 25...35% (об'ємн.) може бути досягнута теоретична щільність компактного матеріалу.

При спіканні деяких сплавів можливе утворення рідкої фази, яка «зникає», дифундуючи у зерна тугоплавкого компонента з утворенням однорідного твердого розчину.

Оскільки при спіканні зменшується кількість і об'єм пор та каналів між частинками порошку, то для зменшення ймовірності браку режим спікання має бути організований таким чином, щоб забезпечити надійне газовиділення. Це особливо важливо при спіканні порошкових сумішей з утворенням рідкої фази. Крім того, треба зважати на те, що у складі шихти можуть бути присутніми технологічні речовини (наприклад, мастила), які також треба повністю видалити під час спікання.

Після спікання може виявлятися не лише брак, пов'язаний з неправильним режимом спікання, але й з порушенням технологій попередніх операцій. При спіканні найчастіше зустрічаються такі види дефектів.

**Приховане розшарування** – результат неправильного режиму пресування, який викликав у брикеті утворення невеликих тріщин-розшарувань, невидимих неозброєним оком. При спіканні ці тріщини значно збільшуються і стають видимими. Брак непоправний.

**Жолоблення та спотворення форми** часто виникає у плоских виробках з тонких порошків, які дають значну усадку. Виникненню такого браку сприяє погане змішування компонентів, нерівномірна щільність пресовки і занадто швидкий підйом температури при спіканні. Брак може бути виправлений наступним холодним чи гарячим обробленням тиском або калібруванням.

**Перепал** – розтріскування виробів або надмірне закруглення їх структури, яке виникає при значному завищенні температури спікання. Брак не піддається виправленню.

**Недопiкання** – недостатнiй ступiнь спiкання, з яким пов'язанi зниження щiльностi, мiцностi та iнших властивостей виробу. Є результатом заниження температури i часу спiкання. Брак може бути виправлений повторним спiканням. Проте механiчнi властивостi виробу пiсля цього будуть дещо нижчi, нiж у виробiв, спечених без порушення технологiї.

**Окиснення** – брак, пов'язаний з порушенням атмосферних умов спiкання: присутнiсть у печi кисню або газiв, якi взаємодiють з матерiалом виробiв, що спiкаються, пiдсмоктування повітря i т.п. Характеризується з'явленням на поверхнi деталi кольорiв мiнливостi, окалини або корозii. У деяких випадках цей брак може бути виправлений повторним нагрiванням у вiдновлювальнiй атмосферi.

**Кiрочка** – вiдшарування у поверхневих шарах виробу. Виникає найчастiше внаслiдок розкладання органiчних зв'язок, якi вводяться у шихту для полiпшення умов пресування порошокiв. Для попередження цього браку застосовують повiльне i рiвномiрне нагрiвання виробiв, ретельний захист iх засипкою або захисною атмосферою. Брак непоправний.

**Випотiвання** – видiлення рiдкої фази на поверхнi виробу, зокрема з-за поганої змочуваностi рiдкою фазою тугоплавкого складника матерiалу.

**Спучування** – утворення пухирiв на поверхнi спеченого виробу. Виникає внаслiдок iнтенсивного газовидiлення при розкладаннi органiчних добавок у складi сумiшi або при рiдинофазному спiканнi, а також з-за мiсцевого нерiвномiрного нагрiвання порошокового брикету, в результатi чого плавиться який-небудь компонент шихти. Брак непоправний.

### **8.3 Завдання на пiдготовку до лабораторної роботи**

1. При пiдготовцi до лабораторної роботи повторити теоретичний матерiал, який стосується особливостей процесiв пресування i спiкання при виготовлення виробiв з порошокових матерiалiв.

### **8.4 Контрольнi запитання**

1. Яка мета пресування?
2. Якi можливи причини нерiвномiрностi розподiлу щiльностi по об'єму пресовки?

3. Назвіть найпоширеніші види браку при пресуванні.
4. Яка мета спікання?
5. Які чинники впливають на інтенсивність процесу спікання?
6. Як впливає на щільність виробу утворення рідкої фази при спіканні?
7. Назвіть найпоширеніші види браку при спіканні.

### **8.5 Обладнання, інструменти**

1. Довідкова та методична література.
2. Зразки порошкових виробів.

### **8.6 Вказівки з техніки безпеки**

1. Перед початком виконання лабораторної роботи ознайомитися з безпечними умовами виконання процесів пресування і спікання і ретельно дотримуватися їх під час роботи.

### **8.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. За вказівкою викладача отримати вихідні дані для планування технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу.
2. Скласти попередній план технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу; визначити основні параметри технологічного процесу.
3. Проаналізувати, які етапи процесу пресування спланованого технологічного процесу можуть призвести до виникнення браку.
4. Намітити заходи щодо усунення причин виникнення браку при пресуванні.
5. Проаналізувати, які етапи процесу спікання спланованого технологічного процесу можуть призвести до виникнення браку.
6. Намітити заходи щодо усунення причин виникнення браку при спіканні.
7. Уточнити план технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу, враховуючи намічені заходи усунення причин виникнення браку.

### **8.8 Зміст звіту**

1. Навести вихідні дані для планування технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу.

2. Навести дефекти, які можуть виникнути при виготовлення заданого порошкового виробу, та запропоновані засоби їх усунення.

3. Навести уточнений план технологічного процесу виготовлення заданого порошкового виробу.

### **Література**

#### **Основна**

1. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення. [Чинний від 01.01.1995]. К.: Держстандарт України, 1994. 37 с.

2. Якимчук Г.К., Адаменко Ю.І., Плівак О.А. Допуски і посадки: Довідник. – Частина 1. – К.: Основа, 2011. – 96 с.

3. Дудніков А.А. Основи стандартизації, допуски, посадки і технічні вимірювання: підручник. К.: ЦНЛ, 2005. 352 с.

4. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація: навч. посібник. К.: Знання, 2006. 242 с.

5. ДСТУ 2500-94 Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми. [Чинний від 01.07.1995]. К.: Держстандарт України, 1994. 33 с.

6. Попович В., Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник.-Львів: Світ, 2006.-624 с.

7. Бялік О.М., Черненко В.С., Писаренко В.М., Москаленко Ю.М. Матеріалознавство: Підручник. К.: «Політехніка» ІВЦ, 2001. 375 с.

8. Бичовський Р.В., Столярчук П.Г., Гамула П.Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація. Львів: вид. НУ «Львівська політехніка», 2002. 560 с.

#### **Додаткова**

9. Плескач В.М., Акімов І.В., Мітяєв О.А. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: підручник / за заг. ред. доц. В.М.Плескача. Запоріжжя: Просвіта, 2013. 370 с.

10. 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.

11. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. К. : Центр учбової л-ри, 2020. – 335 с.7.

12. Голофаєв А.М., Гутько Ю.І., Тараненко Н.О. Технологічна оснастка ливарного виробництва: Навчальний посібник – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. - 304 с.

13. Технологічні процеси за фахом. Кування і штампування: навч. посібник / В. В. Кухар та ін. – Маріуполь: ПДТУ, 2017. – 144 с.

14. Стандартизація, метрологія та контроль: підручник/ О.В.Рабінович, І.Ф.Червоний, М.О.Маняк та ін.; за ред. проф. Червоного І.Ф., Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 184 с.

Додаток А  
Коефіцієнт Стьюдента  $t_p$

n - 1	Довірча імовірність P		
	0,90	0,95	0,99
1	6,31	12,7	63,70
2	2,92	4,30	9,92
3	2,35	3,18	5,84
4	2,13	2,78	4,60
5	2,02	2,57	4,03
6	1,94	2,45	3,71
7	1,89	2,36	3,50
8	1,86	2,31	3,36
9	1,83	2,26	3,25
10	1,81	2,23	3,17
11	1,80	2,20	3,11
12	1,78	2,18	3,05
13	1,77	2,16	3,01
14	1,76	2,14	2,98
15	1,75	2,13	2,95
16	1,75	2,12	2,92
17	1,74	2,11	2,90
18	1,73	2,10	2,88
19	1,73	2,09	2,86
20	1,72	2,09	2,85
21	1,72	2,08	2,83
22	1,72	2,07	2,82
23	1,71	2,07	2,81
24	1,71	2,06	2,80
25	1,71	2,06	2,79
26	1,71	2,06	2,78
27	1,70	2,05	2,77
28	1,70	2,05	2,76
29	1,70	2,05	2,76
30	1,70	2,04	2,75