

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Запорізька політехніка»

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни «Сучасні виробничі технології»  
для студентів спеціальності G8 Матеріалознавство

спеціалізації Композиційні та порошкові матеріали, покриття  
денної форми навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Сучасні виробничі технології» для студентів спеціальності G8 Матеріалознавство спеціалізації Композиційні та порошкові матеріали, покриття денної форми навчання / Укл. В. М. Плескач – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 57 с.

Укладачі:	В.М.Плескач, доц., к.т.н.,
Рецензент:	О.А.Мітяєв, проф., д.т.н.
Експерт:	Н.В.Широкобокова, к.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 похибок і статистичне оброблення результатів вимірювання лінійних розмірів .....	5
Лабораторна робота № 2 Визначення міцності, пластичності і твердості сталей і сплавів .....	11
Лабораторна робота № 3 Залежність міцності композиційних матеріалів від виду наповнювача.....	17
Лабораторна робота № 4 Аналіз ефективності сталеплавильного виробництва .....	22
Лабораторна робота № 5 Порівняльний аналіз методів виробництва литих заготовок.....	29
Лабораторна робота № 6 Вивчення процесів об'ємного і листового штампування .....	36
Лабораторна робота № 7 Визначення режиму різання і продуктивності оброблення при фрезеруванні.....	43
Лабораторна робота № 8 Забезпечення технологічності і точності оброблення заготовок.....	47
Література.....	55
Додаток А. Коефіцієнт Стьюдента $t_p$ .....	57

## ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни «Сучасні виробничі технології» для студентів спеціальності G8 Матеріалознавство спеціалізації Композиційні та порошкові матеріали, покриття служать для ознайомлення студентів з організацією основних технологічних процесів у промисловості, з їх змістом і проблемами; із засобами контролю та керування якістю промислової продукції, а також з проблемами співіснування техносфери і екології.

При виконанні лабораторних робіт студенти мають можливість на підставі заданих виробничих або експериментальних умов приймати оптимальні рішення поставлених задач або знаходити кращий варіант серед порівняно рівноцінних рішень.

При виконанні лабораторних робіт студенти також знайомляться з сучасними виробничими технологіями, практичними способами оцінювання якості продукції або ефективності запланованого технологічного процесу. Після проведення експериментів та необхідних розрахунків студенти ресструють отримані результати, роблять висновки і оформляють звіт.

Кожна лабораторна робота (крім лабораторної роботи № 8) 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 ПОХИБОК І СТАТИСТИЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ

### 1.1 Мета роботи

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

### 1.2 Загальні відомості

Виробничий процес постійно знаходиться під різноманітними видами контролю залежно від його особливостей і виду остаточної продукції. У машинобудуванні важливим є поопераційний контроль виготовлення деталей на кожному робочому місці. Суть його полягає у виявленні *похибок* – відхиленні розмірів виготовленої деталі від заданих конструктором. Зрозуміло, виготовляючи велику кількість деталей, особливо у масовому автоматизованому виробництві, неможливо виготовити всі деталі абсолютно однаковими. Тому на кожний розмір деталі встановлюється **допуск** – допустиме відхилення розмірів, яке найчастіше задається граничними відхиленнями. Якщо технологічний процес працює правильно, розміри всіх виготовлених деталей мають вкладатися у допуск.

Аналіз ефективності технологічного процесу може бути проведений за допомогою статистичного оброблення результатів вимірювання, внаслідок якого виробничі похибки вимірювання утворюють **довірчий інтервал**, який повинен знаходитися у межах допуску, визначеного конструктором.

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. 1.1).

Нормальний розподіл часто зустрічається в природі, зокрема при оцінювання похибок вимірювання лінійних розмірів [1-3].

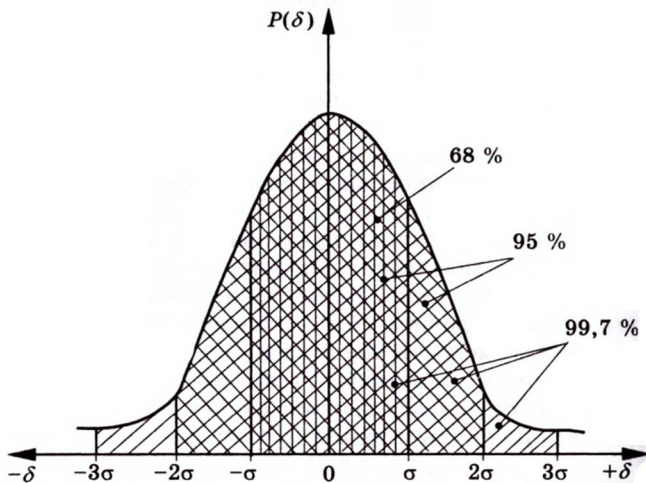


Рисунок 1.1 - Ступінь розсіювання похибок та довірчі ймовірності при нормальному законі розподілу

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 [1, 2, 4].

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:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1.1)$$

Воно є центром нормального розподілу (розсіювання, рис. 3.1) похибок при вимірюванні і служить точковою оцінкою істинного значення вимірюваної величини.

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

$$\delta_i = x_i - \bar{x}; \delta_i^2 = (x_i - \bar{x})^2. \quad (1.2)$$

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

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}. \quad (1.3)$$

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, що 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 отримані похибки  $\delta_i$  (формула 1.2) 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 граничні межі довірчого інтервалу:

$$\delta_{di} = t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \quad (1.4)$$

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

Остаточний результат аналізу записується у вигляді:

$$x = \bar{X} \pm \delta_{di}. \quad (1.5)$$

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

### 1.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, який стосується статистичного оброблення результатів вимірювання та методики його проведення.

### 1.4 Контрольні запитання

1. Яке призначення статистичного оброблення результатів вимірювання природних явищ?
2. На чому ґрунтується статистичне оброблення результатів вимірювання?
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?

### **1.5 Обладнання, інструменти**

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

### **1.6 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.

### **1.7 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 (1.1) і для кожного вимірювання – випадкові відхилення  $\delta_i$  та їх квадрати за формулами (1.2). Результати розрахунків записати у таблицю 1.1.

3. Обчислити середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання  $\sigma_x$  за формулою (1.3).

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 1.1.

Таблиця 1.1 – 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 (1.4). Коефіцієнт Стьюдента  $t_p$ , який залежить від обраної довірчої ймовірності  $P$  та кількості вимірювань  $n$ , обрати з додатку А.

6. Установити довірчі розміри зразків (формула 1.5), порівняти їх із заданим допуском на лінійний розмір зразка, що вимірювався, і зробити висновок щодо ефективності технологічного процесу виготовлення зразків (виробів).

### 1.8 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 1.1.

4. Навести розрахунок довірчих розмірів зразків.

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

## Лабораторна робота № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ, ПЛАСТИЧНОСТІ І ТВЕРДОСТІ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ

#### 2.1. Мета роботи

За допомогою визначення показників міцності та пластичності проаналізувати залежність показників міцності та пластичності від вмісту в сталі вуглецю; визначаючи твердість сталі методами Бринелля, Віккерса, і Роквелла, вивчити вплив вмісту вуглецю на твердість сталі і проаналізувати зв'язок між твердістю та границею міцності для нормалізованої сталі.

#### 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. 2.1, а), на якій наведені характерні точки, що відповідають певним показникам механічних властивостей.

Основним показником міцності вважається *границя міцності* (тимчасовий опір). Їй відповідає напруження, яке створює найбільше навантаження  $P_{max}$  (точка D, рис. 2.1), що передує розриванню зразка.

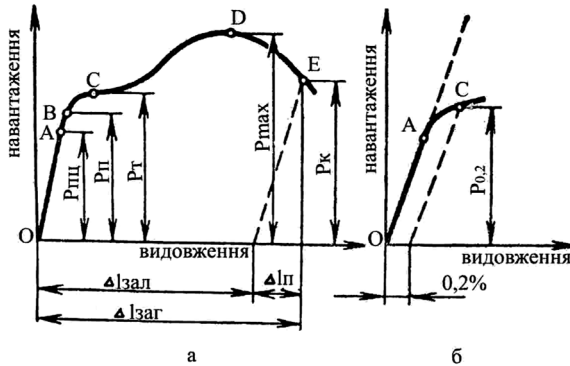


Рисунок 2.1 – Діаграма розтягу зразка з пластичного металу (а); схема визначення умовної границі плинності малопластичних сталей (б)

Границю міцності  $\sigma_B$ , МПа, і визначають за формулою:

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0}. \quad (2.1)$$

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

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

**відносне видовження**

$$\delta = (\ell_1 - \ell_0) \cdot 100\% / \ell_0, \quad (2.2)$$

**відносне звуження**

$$\psi = (F_0 - F_u) \cdot 100\% / F_0, \quad (2.3)$$

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

**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: Бринелля, Віккерса та Роквелла. Для багатьох сплавів існує чітка залежність між твердістю та експлуатаційними характеристиками (міцністю, зносостійкістю, оброблюваністю різанням або тиском та іншими).

**Метод Бринелля** полягає у тому, що кульку зі сталі або з твердого сплаву діаметром  $D$  втискають у поверхню деталі зусиллям  $P$  і дають певну витримку (рис. 2.2, а).

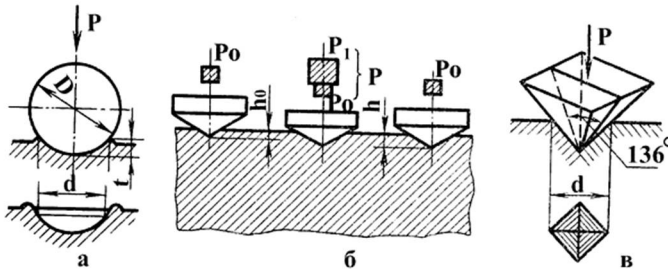


Рисунок 2.2 – Визначення твердості металу методами Бринелля (а), Роквелла (б) та Віккерса (в)

Навантаження  $P$  обирається за спеціальними таблицями залежно від діаметра кульки та очікуваної твердості. Найменше навантаження для кульки діаметром 1 мм становить 10 Н, найбільше для кульки діаметром 10 мм – 30 кН.

Число твердості за Бринеллем  $HВ$  визначають відношенням прикладеного навантаження  $P$ , Н, до площі сферичного відбитка  $F$ , мм<sup>2</sup>:

$$HВ = \frac{0,102P}{F} = \frac{0,102 \cdot 2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.4)$$

Щоб не вдаватися до тривалих і трудомістких розрахунків, на практиці для визначення твердості залежно від Р, 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

$$\sigma_B = k(HB), \quad (2.5)$$

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 HB для сталеві кульки і до 650 HBW 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.2.2, 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 Р 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 Р, Н, прикладеного до алмазної піраміди, до площі її пірамідального відбитка F, мм<sup>2</sup>:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{0,102 \cdot 2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,189 \frac{P}{d^2}, \quad (2.6)$$

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

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 *сталевій кульці* діаметром 1,588 мм (1/16"). Навантаження на індентор прикладається послідовно: спочатку попереднє навантаження  $P_0$  у 100 Н, а потім – основне  $P_1$  (рис. 2.2, б). Сумарне навантаження  $P = P_0 + P_1$  обирається залежно від застосованого індентора та очікуваної твердості зразка, який досліджується.

Перевагою метода Роквелла є те, що твердість за Роквеллом визнають безпосередньо за індикатором твердоміра у поділках його шкали.

### 2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

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

#### 2.4 Контрольні запитання

1. Які характеристики металів визначаються при випробуванні на розтяг?
2. Дайте визначення міцності і пластичності.
3. Що служить кількісною характеристикою міцності і пластичності?
4. Які методи визначення твердості ви знаєте?
5. Як впливає вміст вуглецю на міцність, пластичність та твердість сталей?

#### 2.5 Обладнання, інструменти, матеріали

1. Розривна випробувальна машина
2. Твердоміри
3. Штангенциркулі
4. Мікрометри

5. Розривні зразки зі сталей Ст3, 20, 40, 60, У8, У10, У12 у нормалізованому стані

### 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 і твердомірів.

### 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. Одночасно визначити твердість зразків, що проходять випробування на розтяг.

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. 2.1).

Таблиця 2.1 – 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.

6. Зробити висновки про вплив вуглецю на міцність, пластичність та твердість сталей.

### **2.8 Зміст звіту**

1. Дати визначення міцності, пластичності і твердості конструкційних матеріалів.

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

3. Навести діаграму розтягу зразків з 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 № 3**

### **ЗАЛЕЖНІСТЬ МІЦНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ВІД ВИДУ НАПОВНЮВАЧА**

#### **3.1. Мета роботи**

Проаналізувати вплив виду наповнювача, його характеристик на міцність композиційних матеріалів.

#### **3.2 Загальні відомості**

Волокнисті композиційні матеріали (КМ) досить часто використовуються завдяки своїм високим механічним властивостям. Як правило, при цьому використовуються достатньо пластичні полімерні матриці, а як наповнювачі - міцні, але крихкі волокна (наприклад, скляні, вуглецеві). При навантаженні розтягу першою пластично деформується матриця, і навантаження поступово сприймається наповнювачем - волокнами. Волокна, розтягуючись, зменшуються у поперечнику і починають розтягувати матрицю у поперечному напрямку. Цим самим матриця здійснює додатковий внесок в опір розтягу [5]. Роль матриці в армованому КМ під дією навантаження зводиться до ролі «диспетчера», який розподіляє навантаження між волокнами. Поступово навантаження переходить на волокна. Чим більше вміст наповнювача у КМ, тим вище його міцність, але тим слабше виявляються його пластичні властивості.

Високі механічні властивості КМ досягаються лише тоді, коли забезпечується одночасна робота обох компонентів композиту під час його експлуатації. А це значною мірою визначається фізико-хімічними процесами на межі розподілу матриця-наповнювач. Зазвичай такими процесами є змочування, адгезія та інші.

Змочування – одна з головних умов одержання якісного композиту. Воно полягає у взаємодії рідини (матриці) з твердим тілом (наповнювач). Ступінь змочування залежить головним чином від стану поверхні твердого тіла і характеру контактної взаємодії рідини з поверхнею цього твердого тіла.

Композит, що складається з пластичної матриці та міцних, але крихких односпрямованих *неперервних волокон*, має чітко виражену анізотропію властивостей, а його міцність визначається не лише міцністю самих волокон, а також їх діаметром і об'ємним вмістом волокон у композиті. Збільшення діаметра волокон у складі КМ призводить до зниження їх міцності, але різною мірою, залежно від природи волокон. Вважається, що при збільшенні діаметра волокон їх міцність різко падає, а при діаметрі  $d$  понад 15 мкм асимптотично наближується до певної мінімальної величини (рис. 3.1).

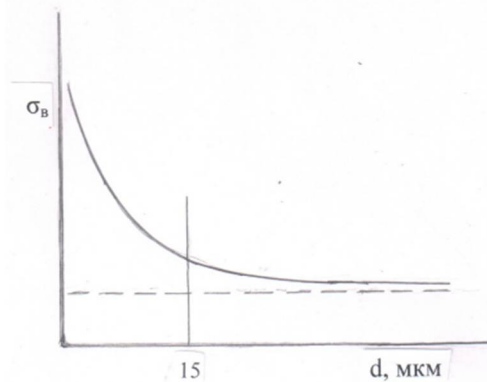


Рисунок 3.1 – Залежність міцності волокон від діаметра

Міцність КМ, армованих *дискретними волокнами*, завжди менше міцності композитів з *неперервними* волокнами. Вона залежить від співвідношення їх довжини  $l$  і діаметра  $d$ . Чим більше

співвідношення  $l/d$ , тим міцніший матеріал. При аналізі його впливу на міцність композиту використовується поняття *критичної довжини волокон*  $l_{кр}$  [5-7]:

$$l_{кр} = \sigma_b d / 2\tau_{зч}, \quad (3.1)$$

де  $\sigma_b$  – границя міцності волокна, МПа;  $d$  – діаметр волокна, мкм;  $\tau_{зч}$  – границя міцності зсуву на межі матриця-волокно, МПа.

Тобто, чим вище  $\tau_{зч}$  матриці, тим менше  $l_{кр}$ , швидше досягається умова  $l > l_{кр}$ , і тим довше триватиме поступове руйнування армувальних волокон під дією навантаження.

Якщо довжина волокна  $l$  менше за критичну (мінімальну) довжину  $l_{кр}$ , то волокно не створює опір деформуванню матриці, і його міцність не використовується у композиті повною мірою. Якщо довжина волокна  $l$  більше за критичну довжину  $l_{кр}$ , то волокно руйнується при розтягу відповідно до своєї міцності, і при цьому чим більше  $l$ , тим більшу міцність має КМ в цілому.

Важливим фактором, що визначає міцність композиту, є *об'ємна концентрація* волокон у перерізі виробу. Якщо об'ємна концентрація волокон більше мінімальної, під навантаженнями, що поступово збільшуються, починають послідовно руйнуватися волокна. Навантаження переходять на недостатньо міцну матрицю, і невдовзі відбувається її миттєве руйнування по всьому поперечного перерізу композиту. Таке руйнування КМ називається *одиничним*.

Для оцінювання міцності композиту найчастіше використовується феноменологічний підхід. При *феноменологічному* підході вважається, що матеріал є умовно однорідним і має деякі усереднені властивості, які можуть бути визначені експериментально на зразках кінцевих розмірів. Це значно спрощує задачу, якщо згадані вище зразки виготовлені за тією ж технологією, що й виріб. У такому випадку для попереднього оцінювання міцності композиту використовується *рівняння адитивності*.

Рівняння адитивності не враховують всі особливості взаємодії матриці та наповнювача, механізму руйнування, але завдяки простоті та зручності його використовують при оціночних розрахунках.

*Границя міцності* двокомпонентного КМ, який складається з матриці й волокон, за правилом адитивності, або «правилом суміші»:

$$\sigma_{\epsilon}^{KM} = \sigma_{\epsilon}^{\epsilon} \cdot V_B + \sigma_{\epsilon}^M \cdot (1 - V_B), \quad (3.2)$$

де -  $\sigma_{\epsilon}^{\epsilon}$  - границя міцності волокон;  $\sigma_{\epsilon}^M$  - напруження в матриці в момент руйнування волокон;  $V_B$  - об'ємна частка волокон у композиті.

Границя міцності композиту при розтягу визначається головним чином максимальною об'ємною часткою волокон. Об'ємна частка волокон рідко перевищує 65...70% тому, що при перевищенні цього рівня відбувається їх надмірне руйнування. Практика показує, що при звичайному вмісті волокон внесок полімерної матриці у міцність КМ не перевищує 2...5%, тому загальна міцність КМ достатньо точно визначається виразом  $\sigma_{\epsilon}^{KM} \parallel \approx \sigma_{\epsilon}^{\epsilon} \cdot V_B$  (де  $\sigma_{\epsilon}^{KM} \parallel$  - границя міцності КМ, армованого волокнами, при навантаженні паралельно напрямку розташування волокон).

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

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується складу, властивостей композиційних матеріалів.

#### **3.4 Контрольні запитання**

1. Як відбувається взаємодія матриці і наповнювача при руйнуванні композиційного матеріалу?
2. Як впливає змочування на загальну міцність композиційних матеріалів?
3. Як впливає діаметр і довжина волокон на міцність композиту?
4. Чи залежить міцність композиту від об'ємного вмісту наповнювача?
5. Як розраховують границю міцності композиту за правилом адитивності?

#### **3.5 Обладнання, інструменти, матеріали**

1. Розривна випробувальна машина

## 2. Калькулятор

### 3.6 Вказівки з техніки безпеки

При виконанні роботи суворо додержуватися вказівок викладача (навчального майстра).

### 3.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Отримати від викладача завдання на склад композиту, що підлягає дослідженню: вид полімеру матриці (таблиця 3.1), вид волокон наповнювача (таблиця 3.2) і об'ємну частку наповнювача у композиті.

Таблиця 3.1- Властивості полімерів

Види полімерів	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Напруження руйнування при розтягу, МПа	Відносне видовження, %%	Температура плавлення, °С
Поліетилен ПЕВД	918...935	10...16	400...600	105...115
Поліпропілен ПП	910	30	100	100...170
Полістирол ПС	1050	35...40	1,0...1,5	190...230
Поліамід ПА-6	1130	66...80	80...150	215

Таблиця 3.2 – Властивості волокон

Види волокон	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Границя міцності, МПа	Модуль пружності, ГПа
Скляні марки А	2500	3020	74
Борні БН	2400	3140	383
Кевлар-49	1800	2750	130
Скляні кварцові	2210	6000	75
Органічні СВМ	1650	2750	130

2. За формулою 3.2 розрахувати орієнтовну міцність композиту запропонованого складу.

3. Повторити розрахунки для декількох композитів різного складу.

4. Проаналізувати отримані результати і оцінити, за рахунок чого один з композитів показав більшу міцність.

### **3.8 Зміст звіту**

1. Коротко описати характер руйнування композиційного матеріалу під дією навантаження.

2. Описати роль волокон у забезпеченні міцності композиту залежно від їх розмірів та їх об'ємної частки у складі композиту.

3. Навести запропонований склад композиту і розрахунок його міцності.

4. Після порівняння результатів розрахунків міцності різних підгруп зробити висновок, який фактор найбільше вплинув на міцність композиту.

## **Лабораторна робота № 4**

### **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА**

#### **4.1. Мета роботи**

Проаналізувати енергоємність різних способів виробництва сталі у залежності від виду технологічного процесу та складу вихідної шихти.

#### **4.2 Загальні відомості**

Металургія – один з найбільш енергоємних процесів [8, 9]. Тому сумарні витрати енергії і характер її використання на одиницю продукції можуть слугувати інтегральною характеристикою основних економічних витрат на виробництво чавуну, сталі та інших металів. Вони відбивають витрати енергії, як у власне технологічному процесі

виробництва металу, так і на всіх попередніх стадіях виробництва, включаючи видобування, перероблення та транспортування енергоресурсів (природний газ, вугілля та ін.) та сировини (руда, флюси, рідкий чавун, вогнетриви та ін. ).

Основні способи виробництва сталі: у кисневих конвертерах, мартенівських та електродугових печах - відрізняються за енергоємністю (тобто за сумарними витратами на виробництво) та якістю виготовленої сталі. У той же час навіть у межах одного способу виробництва сталі зміни складу вихідних матеріалів (шихти) дозволяють змінити як витрати на готову продукцію (її собівартість), так і якість виготовленої сталі. Виконання цієї лабораторної роботи дає можливість виявити, які технологічні процеси є сучасними та економічними для виробництва сталі.

**Киснево-конвертерний процес** - це варіння сталі з *рідкого чавуну* в конвертері з основною футерівкою шляхом продування киснем зверху через водоохолоджувану фурму. Цей метод має ряд переваг: висока продуктивність виробництва (до 400...500 т/год.); низькі капітальні витрати на будівництво конвертерного цеху; можливість автоматизації виробництва.

У кисневих конвертерах можна переробляти рідкий чавун будь-якого хімічного складу. Завдяки використанню чистого кисню теплоти окиснення вуглецю, марганцю, фосфору, які містяться у чавуні, її з надлишком вистачає для нагрівання рідкого металу до температури, необхідної для перебігу основних фізико-хімічних процесів варіння сталі. Надлишок тепла дозволяє переробити у конвертері певну кількість металобрухту (до 25% від маси чавуну).

У кисневих конвертерах варять низковуглецеві конструкційні якісні сталі. Введення у сталі легувальних елементів під час варіння у конвертері ускладнено у зв'язку з окиснювальною атмосферою та з порівняно швидким окисненням легувальних елементів у рідкому металі. Тому їх вміст у таких сталях не перевищує 2...3%.

Щоб збільшити частку металобрухту (до 100%) у шихті, яка переробляється у конвертерах, використовують **киснево-паливний процес**. Він здійснюється у конвертерах комбінованого дуття. Інтенсивне нагрівання і **плавлення твердої шихти** здійснюються за рахунок того, що в конвертер через бічні пальники надходить

природний газ. Його згоряння, а також часткове допалювання оксиду вуглецю в конверторі й дають необхідну додаткову кількість тепла.

**Мартенівський процес** ведуть на поду полуменевої регенеративної відбивної печі. Піч спочатку завантажують шихтою (**рідкий чавун і металобрухт**, також руда, феросплави та ін.), яка потім під дією витягнутого факелу полум'я поступово плавиться. Після розплавлення у металеву ванну додають різноманітні добавки, щоб отримати сталь потрібного хімічного складу.

Варіння сталі триває 6...8 годин. За цей час можна відкоригувати її хімічний склад. Тому у мартенівських печах виготовляють сталі будь-якого хімічного складу, у тому числі й леговані. Але продуктивність мартенівських печей становить 40...80 т/год; тобто у 6...10 разів нижче ніж у кисневих конвертерах. Їхнє будівництво та експлуатація вимагають великих капітальних витрат, тому нові мартенівські печі зараз не будуються.

У залежності від співвідношення вихідних компонентів у шихті мартенівської печі (рідкого чавуну і твердої завалки) розрізняють скрап-рудний і скрап-процеси виробництва сталі.

**Мартенівський скрап-рудний процес** використовується тоді, коли до складу заводу входять доменний, мартенівський і прокатний цехи. Це дозволяє постачати доменний чавун у мартенівський цех безпосередньо у рідкому стані. Шихта при цьому складається на 50...70% з рідкого чавуну, а решта – скрап (відходи власного металургійного виробництва) і металобрухт. Вміст вуглецю в сталі при скрап-рудному процесі регулюється введенням у завалку невеликої кількості залізної руди. Найчастіше частка залізної руди становить 12...16% від маси металеві шихти. Зі збільшенням вмісту руди у шихті вміст вуглецю у розплаві зменшується. Мартенівський скрап-рудний процес здійснюється у великих печах (до 500 т) із застосуванням кисневого дуття для інтенсифікації фізико-хімічних процесів варіння сталі.

При **скрап-процесі** у складі шихти переважає скрап. Невелика кількість чавуну надходить до завалки також у твердому стані. Співвідношення між кількістю скрапу і чавуну у шихті визначається їхнім хімічним складом, окиснювальною здатністю печі та хімічним складом сталі, що виготовляється. Кількість вуглецю у сталі визначає кількість чавуну у шихті. Якщо кількість чавуну недостатня,

необхідну додаткову кількість вуглецю вводять за допомогою карбонізаторів (вугілля, кокс, електродний бій та ін.). Скрап-процес реалізується у печах середнього розміру (150...250 т) без застосування кисню.

При *електродуговому процесі* джерелом тепла є дуга, яка горить між електродами або між електродами й металевою завалкою печі. Регулюючи електричні параметри дуги, можна істотно впливати на хід процесу сталеваріння. Як шихту завантажують *металобрухт*, у тому числі й з легованих відходів. При необхідності окиснювання надлишкового вуглецю та інших домішок у піч додають залізну руду або кисень. В електродуговій печі можна створити також ізольовану інертну або відновлювальну атмосферу при варінні високолегованих сталей високої якості. Електродугові печі мають продуктивність 80...120 т/год.

В електропечах можна варити сталь і сплави будь-якого хімічного складу з мінімальним вмістом шкідливих домішок, неметалевих включень тощо. Тому високолеговані інструментальні, нержавіючі, жаростійкі та жароміцні сталі і сплави відповідального призначення варять лише в електродугових печах.

Щоб уникнути забруднення сталі небажаними легувальними елементами, зараз для виробництва вуглецевих сталей високої чистоти у шихту електродугових печей додають до 80 % *металізованих окатків*. Металізовані окатки виготовляють із залізної руди прямим відновленням за допомогою газів-відновлювачів. Вони містять до 90% чистого заліза без домішок вуглецю, сірки, фосфору та інших елементів, які є неунікненими при відновленні руди у доменній печі. Металізовані окатки коштують досить дорого.

У лабораторній роботі аналізується сім технологічних процесів:

1. Киснево-конвертерний процес, в якому вся шихта складається з рідкого чавуну.
2. Киснево-паливний процес, у шихті якого 50% рідкого чавуну і 50% твердого металобрухту.
3. Киснево-паливний процес, в якому вся шихта складається з твердого металобрухту.
4. Мартенівський скрап-рудний процес з часткою металобрухту у шихті 45%.

5. Мартенівський скрап-процес, в якому використовується 100% металобрухту.

6. Електродуговий процес, в якому використовується 100% металобрухту.

7. Електродуговий процес, у шихті якого 25% металобрухту і 75% металізованих окатків.

Склад шихти, витрати електроенергії й інших допоміжних матеріалів для кожного технологічного процесу, а також питома енергоємність виробництва кожного компоненту наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Склад шихти для виробництва 1 т вуглецевої сталі і питома енергоємність компонентів

Компоненти шихти і матеріали, що витрачаються	Питома енергоємність $E_i$ , МДж/од.	Витрати матеріалів $m_i$ , од., за варіантами технологічних процесів						
		1	2	3	4	5	6	7
Чавун, кг	23,8	1280	605	-	597	-	-	-
Металобрухт, кг	0,2	-	495	1093	489	1080	1064	300
Металізовані окатки, кг	14,0	-	-	-	-	-	-	900
Феросплави, кг	62,7	15	15	15	15	15	15	15
Кокс, кг	40,4	-	-	-	-	30	6	-
Антрацит, кг	31,0	-	14	85	-	-	-	-
Мазут, кг	41,0	-	-	-	20	50	-	-
Природний газ, м <sup>3</sup>	37,6	-	11	37	50	130	-	-
Електроди, кг	186,0	-	-	-	-	-	4,7	7,0
Кисень, м <sup>3</sup>	5,8	52	82	115	40	-	25	12
Вогнетриви, кг	16,5	5	6	10	11	15	12,3	16,5
Вапно, кг	5,4	80	70	70	10	10	70	70
Електроенергія, кВт/год.	11,25	-	-	-	-	-	540	665

### 4.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити теоретичний матеріал, що стосується процесів виробництва сталі.

### 4.4 Контрольні запитання

1. Назвіть основні способи виробництва сталі.
2. Які основні види шихти можуть використовуватися при виробництві?
3. У чому суть киснево-конвертерного процесу?
4. Який процес називається киснево-паливним?
5. Чим відрізняється мартенівські скрап-рудний і скрап-процеси?
6. Як виробляють сталь в електродугових печах?

### 4.5 Обладнання, інструменти, матеріали

1. Калькулятор

### 4.6 Вказівки з техніки безпеки

1. Перед ознайомленням з умовами сталеварного виробництва обов'язково прослухати інструктаж з техніки безпеки та усвідомити необхідність виконувати її вимоги.

### 4.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Групу поділити на сім підгруп по 3...4 студенти. Кожній підгрупі за вказівкою викладача проаналізувати один з зазначених процесів виробництва сталі.

2. Кожній підгрупі за одержаним завданням з табл. 4.1 вписати кількість компонентів шихти та інших матеріалів, необхідних для даного технологічного процесу, а також питому енергоємність виробництва  $E_i$  кожного з них.

3. Визначити витрати енергії по кожному компоненту  $m_i$   $E_i$  і, підсумовуючи, витрати первинної енергії на виробництво 1т вуглецевої сталі за заданою технологією:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \cdot m_i . \quad (4.1)$$

Розрахунки звести у табл. 4.2.

4. За даними різних підгруп порівняти витрати первинної енергії на виробництво 1т вуглецевої сталі за різними технологічними процесами, звівши результати підрахунків різних підгруп у табл. 4.3.

#### 4.8 Зміст звіту

1. Коротко описати технологічний процес виробництва сталі згідно з отриманим завданням; його особливості і недоліки, область застосування.

Таблиця 4.2 - Енергетичні витрати за технологічним процесом №

№ № п.п.	Компоненти шихти і матеріали, що витрачаються	Питома енергоємність $E_i, \text{МДж/од.}$	Витрати вихідних матеріалів $m_i, \text{од.}$	Витрати енергії по компоненту $E_i m_i$
			$E = \sum_{i=1}^n E_i \cdot m_i$	

Таблиця 4.3 - Витрати первинної енергії на виробництво 1т вуглецевої сталі

Варіант	Вид технологічного процесу	Витрати первинної енергії $E, \text{МДж/т}$
1	Киснево-конвертерний; 100% рідкого чавуну	
2	Киснево-паливний, 50% металобрухту	
3	Киснево-паливний, 100% металобрухту	
4	Мартенівський скрап-рудний, 45% металобрухту	

5	Мартенівський срап-процес, 100% металобрухту	
6	Електродуговий, 100% металобрухту	
7	Електродуговий, 25% металобрухту, 75% металізованих окатків	

2. У таблицю 4.2 записати кількість кожного компонента  $m_i$ , питому енергоємність їх виробництва  $E_i$  згідно з технологічним процесом, що аналізується. Провести розрахунки енергетичних витрат на виробництво 1т сталі (суму  $E_i \cdot m_i$ ) за заданим варіантом технологічного процесу.

3. У таблиці 4.3 навести результати підрахунків енергетичних витрат різних підгруп.

4. За даними табл.4.3 порівняти енергетичні витрати за різними технологічними процесами, а також проаналізувати вплив змін у складі шихти на енергоємність виробництва 1т сталі.

5. Зробити висновки про переваги і недоліки проаналізованих технологічних процесів і вплив кількості металобрухту на собівартість 1т вуглецевої сталі.

## **Лабораторна робота № 5**

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

#### **5.1 Мета роботи**

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

#### **5.2 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.

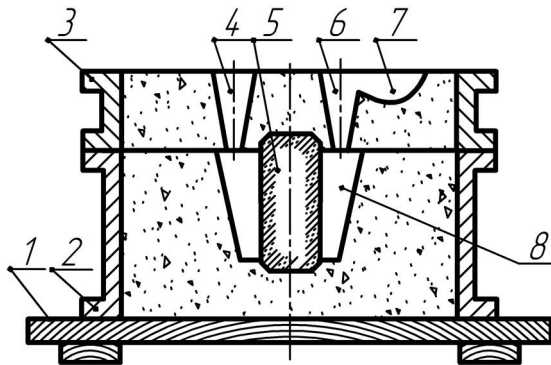
Серед відомих способів лиття при виробництві заготовок найбільше поширення здобули: лиття в піщані форми (до 80% виливків за масою), кокільне (12...15%), відцентрове, в оболонкові форми, під тиском та за витоплюваними моделями. Кожен метод лиття характеризується своїми особливостями, які визначають конфігурацію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

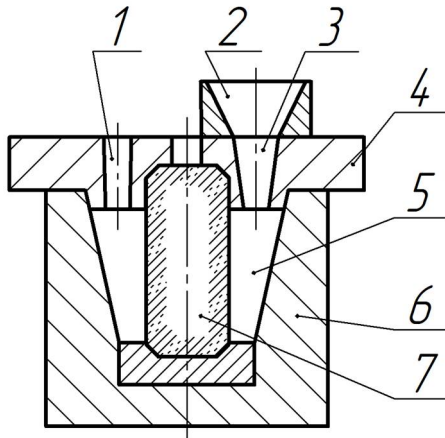
Лиття у піщані форми – найпростіший та найдешевший спосіб лиття. Дешевизна методу полягає у використанні для виготовлення ливарної форми (рис. 5.1) доступних та дешевих матеріалів, а також простого та універсального оснащення – дерев'яного модельного комплексу.



1 – підпокова (або підмодельна) дошка; 2 – нижня опока; 3 – верхня опока;  
 4 – випор; 5 - стрижень; 6 – стояк; 7 – ливникова чаша; 8 – робоча порожнина  
 Рисунок 5.1 – Складена піщана ливарна форма

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. 5.2) допускає багаторазове (до десятків тисяч разів) її використання без додаткових витрат на експлуатацію.

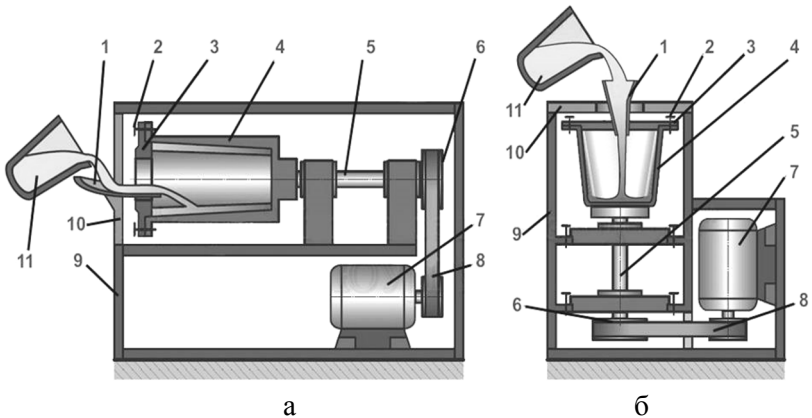


1 – випор; 2 – литникова чаша; 3 – стояк; 4 – кришка; 5 – робоча порожнина;  
6 – корпус кокілю; 7 – стрижень

Рисунок 5.2 - 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 кокільним 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. Кокільним 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. 5.3) виливки виготовляють у металевих ливарних формах (виливницях), що обертаються. Під дією відцентрових сил розплавлений метал розтікається по внутрішній поверхні виливниці.



а  
 виливниці: а – з горизонтальною; б – з вертикальною віссю обертання;  
 1 – жолоб; 2 – фіксатори; 3 – кришка; 4 – виливниця; 5 – вал; 6 – шків;  
 7 – двигун; 8 – клинопосова передача; 9 – корпус установки; 10 – дверцята;  
 11 – ливарний ківш з розплавленим ливарним сплавом  
 Рисунок 5.3 - 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 іншого - 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.

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

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

### **5.4 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?

### **5.5 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.

### **5.6 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.

### **5.7 Порядок виконання лабораторної роботи**

1. Ознайомитися з модельним комплектом та іншим обладнанням, призначеним для виготовлення піщаної ливарної форми, з конструкцією кокіля та установки для відцентрового лиття. Ознайомитися з кресленням готової деталі (рис. 5.4), заготовки для якої отримують трьома способами лиття, що аналізуються.

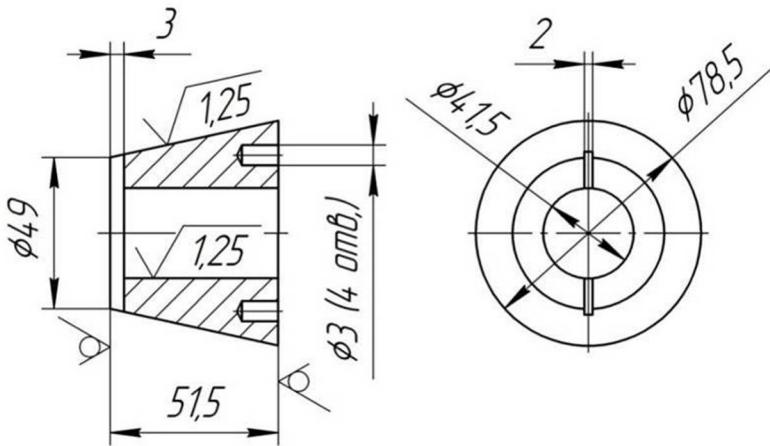


Рисунок 5.4 - Деталь

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.

### 5.8 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 комплексу, 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 № 6

### ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОБ'ЄМНОГО І ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

#### 6.1 Мета роботи

Мета роботи полягає в аналізі можливостей об'ємного і листового штампування і виявленні способів зменшення витрат металу при штампуванні.

## 6.2 Загальні відомості

### 6.2.1 Об'ємне штампування

**Об'ємним штампуванням** називається технологічний процес оброблення металу тиском, при якому деформування і плин металу відбувається у спеціальному інструменті – *штамні* 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 *облою*. Це сприяє кращому заповненню рівчака, але вимагає додаткової операції – обрізання облою. Крім того він є небажаним відходом і визначає помітне збільшення витрат металу при штампуванні.

При **закритому штампуванні** невеликий зазор між частинами штампа забезпечує лише їхню взаємну рухомість і виключає можливість витікання металу. Відсутність облою зменшує витрати металу, виключає необхідність його обрізання. Але цей вид штампування потребує використання точних вихідних заготовок з каліброваного чи попередньо обробленого прокату і використовується для виготовлення поковок порівняно простої конфігурації.

Кращу точність поковок дозволяє отримати холодне об'ємне штампування. До нього відносяться холодне витискання і холодне висаджування. **Холодним витисканням** різних видів отримують поковки типу болтів, стаканів і т.п. внаслідок плину металу усередині штампа. Вихідною заготовкою служить мірний відрізок прокату. Отримані поковки практично не вимагають наступного механічного оброблення. Але для деформування у холодному стані потрібний дуже великий тиск (до 0,7...1,5 ГПа). **Холодним висаджуванням** виготовляють широкий асортимент деталей (болти, гвинти, спиці і

т.п.). Всі операції здійснюються з високою швидкістю на холодновисаджувальних автоматах, які мають продуктивність понад 100 виробів за хвилину. Такі вироби також практично не вимагають подальшого механічного оброблення.

Об'ємне штампування здійснюється на молотах і пресах. Молоти поділяються на пневматичні (порівняно малої потужності) і пароповітряні. Пароповітряні молоти виготовляють з масою частин, що падають, від 630 до 2500 кг. Молоти різних конструкцій застосовують для гарячого штампування переважно у відкритих штампах. Молоти застосовують у серійному виробництві для виготовлення поковок масою 0,01...1000 кг.

Штамування на молотах характеризується невисокою продуктивністю праці, низькою точністю розмірів поковок (допуск досягає кількох міліметрів), великими витратами металу на напуски від штампувальних нахилів внаслідок обмеженого застосування виштовхувачів.

Штампувальні преси поділяються на кривошипні, фрикційні та гідравлічні.

Найпоширеніші – кривошипні преси, на них одержують поковки, ближчі за формою до готової деталі (рис. 6.1) з точнішими розмірами (особливо за висотою), ніж при штампуванні на молотах. Досконаліша конструкція штампів забезпечує меншу величину відносного зміщення половинок штампа, зменшення припусків (на 20...30%), напусків, штампувальних нахилів (у 2...3 рази), допусків і, як наслідок, – збільшення коефіцієнта використання металу.

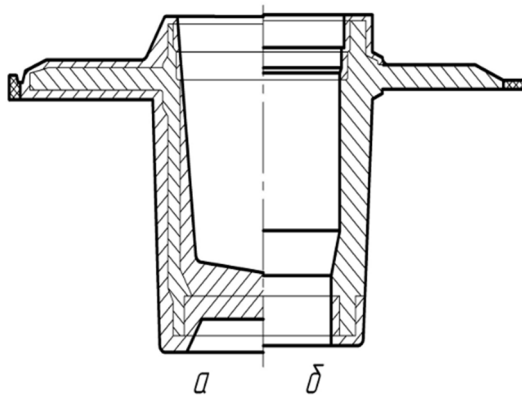


Рисунок 6.1 - Заготовка деталі, отримана штампуванням на молоті (а) і на кривошипному пресі (б)

Гідравлічні преси мають неударний характер роботи. Робочий хід їхнього повзуна здійснюється при дуже невеликій, але постійній швидкості, звичайно до 0,15...0,2 м/сек. Штампувальні гідравлічні преси виготовляють зусиллям до 750 МН зі звичайним чи збільшеним робочим ходом рухомої поперечини і обладнують гідравлічними вштовхувачами, а також висувним столом для зручності переміщення та зміни штампів мостовим краном. Гідравлічний штампувальний прес значно дорожчий, тихохідніший та менш продуктивний, ніж штампувальний молот з еквівалентною масою частин, що падають.

На гідравлічних пресах штампують поковки з чорних і кольорових металів у тих випадках, коли не може бути використаний молот: при штампуванні крупних поковок з площиною проекції до 2,5 м<sup>2</sup> чи масою більше 350 кг; при штампуванні заготовок з малопластичних металів, які не допускають великих швидкостей деформування (титанові сплави, деякі жароміцні сталі і сплави), у тих випадках, коли необхідний дуже великий робочий хід пуансона; при різних видах штампування витисканням.

#### 6.2.2 Листове штампування

**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 вихідного матеріалу 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. До розділювальних операцій відносяться відрізування, пробивання, вирубування. До формозмінювальних операцій відносяться гнуття, витягування, відбортовування, обтискання, рельєфне формування.

Листове штампування, як правило, здійснюється у холодному стані.

Перевагами листового штампування є: можливість виготовлення міцних, легких і жорстких тонкостінних виробів простої та складної форми, які отримати іншими способами неможливо; висока продуктивність та економне використання металу; широкі можливості автоматизації та механізації виробничих процесів; взаємозамінність і висока чистота поверхні виробів. До того ж за рахунок деяких формозмінювальних операцій воно дозволяє отримувати жосткі та міцні деталі, які не поступаються деталям, виготовленим із заготовок отриманих об'ємним штампуванням, без подальшого механічного оброблення.

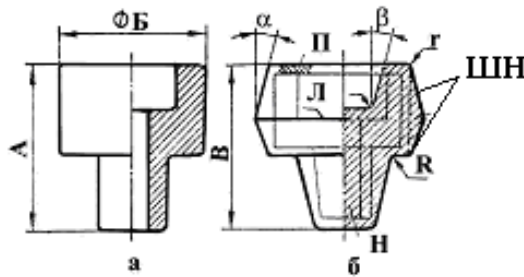
Штамп для листового штампування – відносно складний інструмент, який складається із значної кількості деталей. Базові деталі штампа – дві плити (верхня і нижня), які служать для закріплення на них робочого інструмента (пуансона та матриці). Співвісність руху пуансона та матриці визначаються напрямними. Нижня частина штампа кріпиться нерухомо до столу преса, а верхня - до повзуна преса за допомогою хвостовика. Для виготовлення деяких деталей використовуються штампи подвійної дії. На них при кожному переміщенні штампа пуансон виконує дві операції, послідовні при виготовленні даного виробу. При наступному переміщенні вихідної заготовки (штаби) ці дві операції повторюються, що підвищує продуктивність штампування.

Як обладнання звичайно використовуються кривошипні преси різноманітних конструкцій.

Листовим штампуванням виготовляють заготовки і дрібні деталі годинників і приладів; деталі середніх розмірів, металевий посуд, консервні банки; кришки, кронштейни, диски; крупні облицювальні елементи автомобілів, тракторів; заготовки та деталі літаків, вагонів, авіаційних двигунів; товстостінні заготовки деталей парових котлів і резервуарів, корпусів морських суден тощо.

### 6.2.3 Поковка об'ємного штампування

Типова поковка об'ємного штампування (рис. 6.2) 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 r – внутрішні та зовнішні радіуси заокруглень

Рисунок 6.2 – 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:

$$V_3 = V_{\text{п}} + V_o + V_y + V_{\text{к}}. \quad (6.1)$$

Об'єм поковки розраховують за її кресленням. Об'єм облою  $V_o$  звичайно становить 5...25%, витрати на угар  $V_y$  - 0,5...0,8% при електронагріванні або 1,5...2,0% від об'єму поковки  $V_{\text{п}}$  при полуменовому нагріванні. Відходи на кліщовину  $V_{\text{к}}$  можуть становити 5...60% від об'єму поковки.

### 6.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

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

#### 6.4 Контрольні запитання

1. У чому полягає суть об'ємного і листового штампування?
2. Які види об'ємного штампування Ви знаєте?
3. Який інструмент використовується для штампування?
4. Яку роль виконує облой при відкритому об'ємном штампуванні?
5. Яке обладнання найчастіше застосовують для об'ємного і листового штампування?
6. Чим поковка відрізняється від готової деталі?

#### 6.5 Обладнання, інструменти, матеріали

1. Кривошипний гарячештампвальний прес
2. Штампи для об'ємного і листового штампування
3. Кліщі
4. Штангенциркуль
5. Калькулятор

#### 6.6 Вказівки з техніки безпеки

При виконанні лабораторної роботи виконувати вказівки викладача (навчального майстра).

### 6.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Отримати у викладача завдання у вигляді креслення деталі із заданими розмірами і шорсткістю поверхонь з метою визначити об'єм і розміри вихідної заготовки.

2. Для деталі згідно з отриманим завданням вибрати спосіб штампування та розробити орієнтовне креслення поковки, призначаючи оптимальні припуски й напуски за рекомендаціями викладача, і за ними визначити об'єм поковки  $V_{\text{п}}$ .

3. Визначити об'єм вихідної заготовки як  $V_3 = (1,3 \dots 1,5) V_{\text{п}}$ . Приймаючи вихідну заготовку за циліндр, діаметр якого  $d_3$ , має бути на 5% більше найбільшого діаметра деталі завдання, визначити її висоту  $h_3$  вихідної заготовки за формулою:

$$h_3 = 4V_3 / (\pi d_3^2). \quad (6.2)$$

### 6.8 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  $V_{\text{п}}$  і об'єм вихідної заготовки  $V_3$ .
4. Розрахувати розміри вихідної заготовки ( $d_3$ ,  $h_3$ )
5. Навести висновки про вірність спроектованої поковки та ефективність обраного способу штампування

## Лабораторна робота № 7

### ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ РІЗАННЯ І ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ

#### 7.1 Мета роботи

Ознайомитися з особливостями оброблення заготовок на фрезерних верстатах; вивчити параметри режиму різання при фрезеруванні; навчитися визначати основний (технологічний) час оброблення заготовок, від якого залежить продуктивність оброблення при фрезеруванні.

## 7.2 Загальні відомості

**Фрезерування** - вид оброблення заготовок різанням за допомогою багатолезового інструмента – фрези. Головним рухом при фрезеруванні є обертання фрези, рух подачі здійснюється поступовим рухом заготовки (у поздовжньому, поперечному або вертикальному напрямках). Фрезерування – високопродуктивний спосіб оброблення, за допомогою якого обробляють плоскі поверхні (горизонтальні, вертикальні, або похилі), пази, уступи, канавки, а також фасонні поверхні.

Для оброблення різанням заготовка і різальний інструмент повинні виконувати певні рухи. Вони поділяються на робочі, установчі та допоміжні.

*Робочі* рухи призначені для зняття стружки. *Установчі* рухи – це рухи робочих органів верстата, за допомогою яких інструмент займає таке положення відносно заготовки, яке б дала змогу зняти з неї певний шар матеріалу. *Допоміжні* рухи – рухи робочих органів верстата, що не мають прямого відношення до різання металу.

Робочі рухи поділяються на *головний рух* і *рух подачі*. За допомогою головного руху знімається стружка, а рух подачі дає змогу розпочати процес різання та поширити його на необроблені ділянки поверхні заготовки. Кількісною характеристикою робочих рухів є елементи режиму різання.

До *елементів режиму різання* під час фрезерування належать: швидкості різання і подачі та глибина різання. Від правильного вибору цих елементів залежать продуктивність оброблення, точність і якість оброблених поверхонь.

**Швидкість різання**  $V$ , м/хв., визначається за формулою:

$$V = \pi Dn/1000, \quad (7.1)$$

де  $D$  – діаметр фрези, мм;  $n$  – частота обертання фрези, об/хв.

**Глибина різання**  $t$ , мм, визначається за довідниками і встановлюється безпосередньо перед початком фрезерування.

При фрезеруванні розрізняють три види *швидкостей подачі*: хвилину  $S_{хв}$ , мм/хв., - переміщення оброблюваної заготовки за одну

хвилину; подачу на оберт  $S_o, \text{мм/об.}$ , - переміщення заготовки за один оберт фрези; подачу на зуб фрези  $S_z, \text{мм/зуб}$ , - переміщення заготовки за час повертання на кут, що відповідає одному зубу фрези. Ці подачі взаємопов'язані:

$$S_{\text{хв}} = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n, \quad (7.2)$$

де  $n$  - частота обертання фрези, об/хв;  $z$  - число зубів фрези.

Хвилинна подача  $S_{\text{хв}}$  визначає *продуктивність фрезерування*. Подача на оберт впливає на шорсткість обробленої поверхні. Подача на зуб характеризує інтенсивність навантаження на зуб, а отже й стійкість фрези.

**Продуктивність оброблення** при фрезеруванні  $Q$  визначається кількістю деталей, які виготовляються за певний період часу  $T$ , хв., (за місяць, зміну, годину і т.п.):

$$Q = T/T_k, \quad (7.3)$$

де  $T_k$  - час виготовлення однієї деталі, хв.

Головною складовою часу виготовлення деталі  $T_k$  є основний (технологічний) час  $T_o$ , хв., - час, який витрачається безпосередньо на зміну форми, розмірів та стану заготовки на верстаті. Він визначається за формулою:

$$T_o = Li/S_{\text{хв}}, \quad (7.4)$$

де  $L$  - розрахункова довжина заготовки, мм;  $i$  - число проходів фрези.

Розрахункова довжина (рис. 7.1)

$$L = l_1 + l_2, \quad (7.5)$$

де  $l_1$  - довжина шляху врізання фрези, мм;  $l$  - фактична довжина обробленої поверхні, мм;  $l_2$  - перебіг фрези після виходу за межі заготовки, мм (звичайно  $l_2$  беруть 2...5 мм).

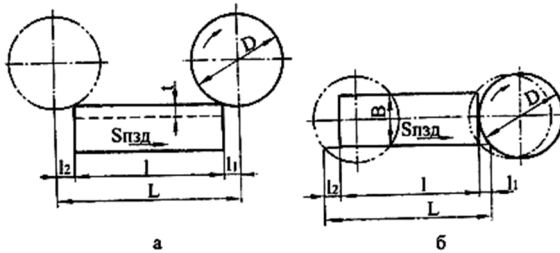


Рисунок 7.1 – Схема визначення розрахункової довжини заготовки при фрезеруванні циліндричною (а) і торцевою (б) фрезами

Довжина шляху візання при фрезеруванні *циліндричною* фрезою:

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)}; \quad (7.6)$$

а при симетричному фрезеруванні *торцевою* фрезою:

$$l_1 = 0,5(D - \sqrt{D^2 - B^2}), \quad (7.7)$$

де  $D$  - діаметр фрези, мм;  $t$  - глибина різання, мм;  $B$  - ширина оброблюваної поверхні, мм.

### 7.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується конструкції та роботи фрезерних верстатів.

### 7.4 Контрольні запитання

1. Назвіть основні характеристики процесу фрезерування.
2. Які рухи здійснюються при фрезеруванні?
3. Які робочі рухи визначають оброблення заготовок на фрезерних верстатах?
4. Чим визначається режим різання при фрезеруванні?
5. Що таке основний (технологічний) час при обробленні різанням?

### 7.5 Обладнання, інструменти, матеріали

1. Верстат вертикально-фрезерний (горизонтально-фрезерний)
2. Фреза торцева (циліндрична)
3. Калькулятор

### 7.6 Вказівки з техніки безпеки

При проведенні лабораторної роботи виконувати вказівки викладача (навчального майстра).

### 7.7 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Кожній підгрупі отримати у викладача варіант індивідуального завдання згідно з табл. 7.1.

2. За наведеною вище методикою розрахувати  $T_0$  - час оброблення заданої поверхні. Кількість проходів  $i$  (формула 7.4) визначити орієнтовно, зважаючи на товщину циліндричних фрез 65 мм або на діаметр торцевої фрези, що використовується.

3. Вважаючи, що у даному випадку основний (технологічний) час  $T_0$  практично співпадає з часом виготовлення однієї деталі  $T_k$ , визначити продуктивність оброблення при фрезеруванні  $Q$ , шт., (формула 7.3) за період часу  $T$ , хв., визначений викладачем (наприклад, за 8-годинний робочий день  $T = 480$  хв.).

4. Порівняти продуктивність оброблення аналогічних поверхонь різними фрезами або на різних режимах різання і вибрати оптимальний режим різання.

### 7.8 Зміст звіту

1. Дати коротку характеристику фрезерування як методу оброблення металів різанням.

2. Записати характеристики індивідуального завдання.

3. Навести схему фрезерування відповідно до рис. 7.1, за якою проводився розрахунок фрезерування.

4. Навести розрахунок основного (технологічного) часу  $T_0$  і продуктивності оброблення заданої поверхні  $Q$ , шт.,

5. На підставі отриманих розрахунків зробити висновок, який режим різання виявився оптимальним.

Таблиця 7.1 – Індивідуальні завдання

№ варі-	Фреза	Оброблювана поверхня	Режим різання

анта	вид	D, мм	l, мм	B, мм	S <sub>хв</sub> , мм/хв.	t, мм
1	циліндр.	50	80	200	25	1
2	циліндр.	60	80	200	50	1
3	циліндр.	80	80	200	100	1
4	циліндр.	100	100	250	25	2
5	циліндр.	120	100	250	50	2
6	циліндр.	150	100	250	100	2
7	торцева	50	80	200	25	1
8	торцева	60	80	200	50	1
9	торцева	80	80	200	100	1
10	торцева	100	100	250	25	2
11	торцева	120	100	250	50	2
12	торцева	150	100	250	100	2

## Лабораторна робота № 8

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ І ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК

#### 8.1 Мета роботи

Ознайомитися з можливими способами забезпечення більшої точності та технологічності оброблення заготовок різанням і методикою вибору кращого способу забезпечення технологічності для заготовки заданої деталі.

#### 8.2 Загальні відомості

Забезпечення технологічності для будь-якого технологічного процесу – задача багатогранна. Зокрема забезпечення технологічності оброблення заготовок різанням залежить, з одного боку, від можливостей і ефективності наявного на даному підприємстві парку металорізальних верстатів, а з іншого – від можливості заготівельного виробництва виготовити зручну для оброблення різанням заготовку і підготувати її для подальшого оброблення різанням.

Задача підвищення технологічності оброблення заготовок полягає головним чином у зменшенні обсягу оброблення різанням. Способи вирішення цієї задачі значною мірою залежать від типу виробництва, обсягу партії, виду заготовки та інших факторів. У загальних рисах вони зводяться до наступних рекомендацій.

Бажано, щоб контур заготовки становив поєднання найпростіших геометричних форм. Напуски і припуски, які знімаються при обробленні різанням, повинні бути мінімальними. Точність розмірів заготовок повинна бути найвищою, а шорсткість поверхонь – мінімальною, але економічно обґрунтованими. Бажано максимально використовувати способи виготовлення заготовок, які не потребують наступного зняття стружки (рис. 8.1).

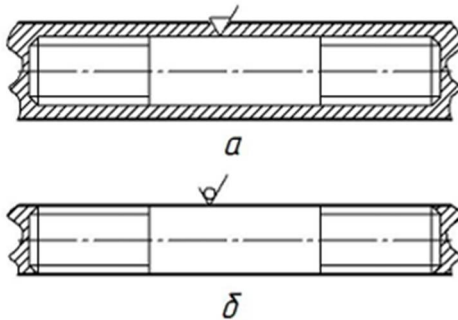


Рисунок 8.1 - Шпилька, виготовлена обробленням різанням (а)  
і накочуванням (б)

При неможливості обійтися без механічного оброблення необхідно намагатися максимально зменшити його обсяг за рахунок зменшення кількості і довжини оброблюваних поверхонь (рис. 8.2).

На сьогодні основними методами виробництва заготовок є ливарне виробництво, оброблення металів тиском і зварювання. Кожна з цих галузей має свої можливості для забезпечення точності і технологічності оброблення заготовок різанням.

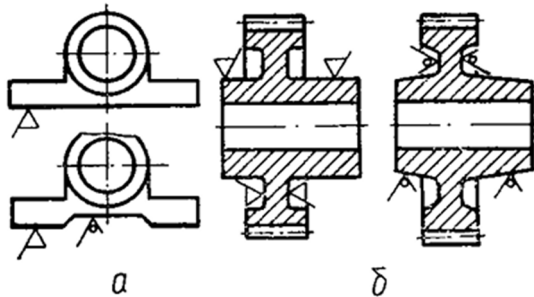


Рисунок 8.2 - Приклади зменшення обсягу механічного оброблення за рахунок зменшення довжини оброблюваних поверхонь (а) та їх кількості (б)

У ливарному виробництві досягти мінімальних припусків можна, використовуючи лиття у металеві форми або точні способи лиття (наприклад, лиття під тиском, за витоплюваними моделями та ін.). Але це досить дорогі методи, і їх використання виправдане лише у крупносерійному і масовому виробництвах.

Особливість формування виливка у ливарній формі полягає у тому, що розплавлений метал у момент заливання вступає у контакт з холодною ливарною формою. Внаслідок швидкого остигання виливок отримує крупнозернисту структуру і низьку пластичність. Більше того, поверхневий шар виливка загартовується, що утруднює подальше оброблення різанням. Тому для поліпшення оброблюваності різанням та поліпшення механічних властивостей, а отже й для забезпечення технологічності оброблення різанням литі заготовки піддають термічному обробленню.

Характер термооброблення залежить від виду ливарного сплаву, способу лиття, розмірів виливка та інших факторів. *Сталеві* виливки піддають відпалюванню. Режим відвалювання залежить головним чином від вмісту вуглецю. В результаті одержують достатню пластичність і мінімальний рівень залишкових напружень, а твердість поверхневого шару значно знижується. Термічне оброблення *чавунних* заготовок застосовується для зміни структури металевої основи

чавуну (матриці), ступеня графітизації, зниження залишкових напружень, стабілізації розмірів.

Якщо заготовка виготовляється *обробленням тиском*, технологічно доцільну форму поковки вибирають з урахуванням як за умов її формування у відповідному ковальсько-штампувальному інструменті, так і з урахуванням забезпечення зручного оброблення у майбутньому.

Оброблення тиском може відбуватися як у холодному, так і у гарячому стані. Кожний вид оброблення має свої переваги і недоліки. Оброблення у гарячому стані вимагає менше зусиль, але на поверхні утворюється окалина, яка як абразивний матеріал швидше зношує металорізальний інструмент. Для підвищення строку служби різального інструменту при обробленні поковок, а також для полегшення контролю якості поверхні поковки очищають від окалини. Шорсткість поверхні навіть після зняття окалини досить висока, тому припуски на оброблення різанням теж великі.

Оброблення у холодному стані дає високу точність розмірів і низку шорсткість. Припуски на оброблення різання дуже малі або зовсім відсутні. Проте холодне деформування вимагає значно більших зусиль і складного обладнання.

Краще забезпечення технологічності і точності оброблення заготовок, виготовлених обробленням тиском, дають такі методи виготовлення заготовок: холодне витискання і висаджування, калібрування катаних або штампованих заготовок волочінням. Деякі спеціальні методи прокатування дозволяють виготовляти вироби складної конфігурації, які не вимагають наступного механічного оброблення.

При виготовленні *зварних заготовок* обсяг механічного оброблення, як правило, невеликий. З точки зору впливу на можливість подальшого механічного оброблення найбільша увага звертається на доступність обробленню поверхонь, що вимагають механічного оброблення, а також на обраний спосіб зварювання.

При зварюванні важливу роль відіграє джерело тепла, яке використовується при зварюванні. Його температура і розмір нагрітої

зони навколо зварного шва суттєво впливають на властивості металу заготовки. У самому зварному шві змінюється хімічний склад за рахунок додавання присадкового металу, а отже й змінюються механічні властивості. Крім того, з обох боків зварного шва утворюються *зони термічного впливу*. У цих зонах хімічний склад металу не змінюється, але за рахунок швидкого відтоку тепла у глиб заготовки метал у зоні термічного впливу загартовується. Все це безпосередньо впливає на перебіг оброблення різанням. Режим різання визначається, розраховуючи на властивості основного металу заготовки, а в зоні зварного шва інструмент зустрічається з поверхнею, твердість якої значно перевищує твердість основного металу. Тому зварна заготовка також вимагає підготовки до механічного оброблення шляхом термооброблення.

Термічне оброблення зварних заготовок провадиться з метою покращення властивостей металу шва і зони термічного впливу та для зняття зварювальних напружень. Режим термооброблення визначається хімічним складом, теплофізичними і механічними властивостями матеріалу заготовки. Термооброблення зварних заготовок сприяє забезпеченню технологічності і точності їх подальшого механічного оброблення, а також стабільності розмірів і форми деталей в процесі експлуатації.

Таким чином, забезпечення технологічності і точності оброблення заготовкою різання значною мірою залежить від правильного вибору методу виготовлення заготовки та підготовки її до оброблення різанням.

Остаточний вибір конкретного методу виробництва заготовок здійснюється на першому етапі технологічної підготовки виробництва. Виходячи із заданої програми випуску, конфігурації і розмірів деталей, а також виробничих можливостей підприємства, встановлюється тип і характер майбутнього виробничого процесу (одиничне, серійне чи масове; групове або потокове).

Згідно з конструкцією деталі та її технічними умовами встановлюють основні чинники, які визначають вибір виду заготовки і технології її виготовлення. У кожному конкретному випадку ці

чинники бажано розташовувати у порядку зменшення їх значущості для даного підприємства.

Аналізуючи ступінь вливу згаданих вище чинників, обирається кілька технологічних процесів, які забезпечують одержання заготовок потрібної якості. Одночасно перевіряється можливість використання комбінованих заготовок. На етапі вибору оптимального методу виготовлення заготовок можна використати так звану **матрицю впливу** чинників (табл. 8.1). Оцінка кожного чинника в ній робиться знаками «плюс - мінус» або за допомогою коефіцієнту питомої ваги (від 0 до 1). Кращим вважається спосіб, який набере більшу кількість плюсів або більшу суму коефіцієнтів.

Таблиця 8.1 Приклад оформлення матриці впливу чинників

Спосіб виготовлення заготовки	Чинники					Сума
	Форма і розміри заготовки	Необхідна точність і якість поверхні	Технологічні властивості матеріалу	Виробничі можливості підприємства	Річна програма	
Лиття: - під тиском	+	+	-	-	-	2
- за витоплюваними моделями	+	+	-	+	+	4
Кування	+	-	+	+	-	3
Штамування на ГKM	+	-	+	-	+	3

### 8.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи повторити матеріал, який стосується конструкції та роботи фрезерних верстатів і оброблення на них заготовок.

### 8.4 Контрольні запитання

1. Які методи виготовлення заготовок використовуються найчастіше?
2. Які основні вимоги виставляються до заготовки з метою забезпечення технологічності оброблення їх різанням?

3. Назвіть види термооброблення литих заготовок для забезпечення технологічності оброблення їх різанням.

4. У чому полягають особливості виготовлення заготовок холодним і гарячим обробленням тиском?

5. Які зміни відбуваються у зоні термічного впливу зварної заготовки?

6. Як здійснюється вибір оптимального метода виготовлення заготовки, який забезпечить кращу технологічність оброблення різанням і точність розмірів?

### **8.5 Обладнання, інструменти, матеріали**

1. Калькулятор

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

При проведенні лабораторної роботи виконувати вказівки викладача (навчального майстра).

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

1. Кожній підгрупі отримати у викладача креслення деталі, для заготовки якої треба обрати метод виготовлення заготовки, що забезпечить кращі технологічність і точність при обробленні різанням.

2. Встановити основні чинники, які визначають вибір виду заготовки і технології її виготовлення.

3. Побудувати матрицю впливу з урахуванням обраних чинників.

4. За оцінкою матриці впливу обрати оптимальний метод виготовлення заготовки і обґрунтувати його.

### **8.8 Зміст звіту**

1. Навести ескіз деталі-завдання та її основні характеристики.

2. Навести вибір декількох методів, за яким може бути виготовлена заготовка заданої деталі і обґрунтувати його.

3. Навести матрицю впливу з урахуванням обраних чинників впливу.

4. Як висновок навести обраний оптимальний метод виготовлення заготовки і обґрунтувати його.

## Література

1. Дудніков А.А. Основи стандартизації, допуски, посадки і технічні вимірювання: підручник. К.: ЦНЛ, 2005. 352 с.
2. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація: навч. посібник. К.: Знання, 2006. 242 с.
3. Якимчук Г.К., Адаменко Ю.І., Плівак О.А. Допуски і посадки: Довідник. – Частина 1. – К.: Основа, 2011. – 96 с.
4. Сизоненко О. М., Івлів А. І., Баглюк Г. А. Перспективні процеси виготовлення порошкових матеріалів: підручник : Миколаїв. НУК. 2014. – 374 с.
5. Корнілов О. Опір матеріалів: підручник. Київ: Логос, 2002. 562 с.
6. Копань В.С. Композиційні матеріали. Київ: унів. вид. «Пульсари», 2004. 198 с.
7. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. Львів: вид. НУ «Львівська політехніка», 2006. 270 с.
8. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство; підручник. – Львів:Світ, 2006. 624 с.
9. Чернега Д.Ф., Богушевський В.С., Говтвянський Ю.Я. та ін. Основи металургійного виробництва / за ред. Д.Ф.Чернпегі – К.: Вища шк., 2006. 503 с.
10. Хричиков, В.Є., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних та кольорових металів: навч. посібник.– Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 288 с.
11. Технологічні процеси за фахом. Кування і штампування: навч. посібник / В. В. Кухар та ін. – Маріуполь: ПДТУ, 2017. – 144 с.
12. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: навч. посібник.- Львів: «Магнолія 2006», 2007. -500 с.
13. Плескач В.М., Акімов І.В., Міт'яєв О.А. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: підручник/ за заг. ред. доц. В.М.Плескача – Запоріжжя: Прогрес, 2013. – 372 с., іл. 146.

14. Волчок, І.П., Плєскач В.М, Шєстаков 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.

Додаток А  
Коефіцієнт Стюдента  $t_p$

n - 1	Довірча імовірність Р		
	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