



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра машинобудування, природничих дисциплін та інформаційних техно-  
логій



## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

### Лабораторний практикум

для студентів напрямку підготовки 6.050502 «Інженерна механіка»



Мукачево  
МДУ 2018

УДК 621.93

*Розглянуто та рекомендовано до друку науково-методичною радою  
Мукачівського державного університету  
протокол № 9 від 19.02.2018 р.*

*Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри машинобудування, при-  
родничих дисциплін та інформаційних технологій  
протокол № 3 від 10.10.2017 р.*

**Укладач:**

**Фордзюн Ю.І.** - к.т.н., доцент кафедри машинобудування, природни-  
чих дисциплін та інформаційних технологій МДУ

**Рецензент:**

**Жигуц Ю.Ю.** – д.т.н., професор Ужгородського національного уні-  
верситету.

Р 57

**Матеріалознавство конструкційних матеріалів:** лабораторний прак-  
тикум для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механі-  
ка»/ укладач Ю.І.Фордзюн. – Мукачево: МДУ, 2018. – 98с. (1,82  
др.арк.)

**Анотація.**

Лабораторний практикум призначений для виконання лабораторних робіт з дисципліни матеріалознавство конструкційних матеріалів: містить короткі теоретичні відомості, опис обладнання, порядок проведення лабораторних робіт та вимоги щодо оформлення звіту, контрольні питання, додатки для виконання самостійної роботи студентами СРС та літературу. Практикум служить для закріплення теоретичних знань та формування практичних навиків у студентів щодо асортименту, маркування, властивостей матеріалів та сфери використання їх в якості конструктивних матеріалів для виготовлення заготовок і деталей машин. Лабораторний практикум забезпечує підготовку майбутнього спеціаліста для виробничо-технічної та ремонтно-господарської (обслуговуючої) та винахідницької діяльності в області машинобудування та легкої промисловості.

© Мукачівський державний університет, 2018

© Фордзюн Ю.І., 2018

## З М І С Т

1. Лабораторна робота 1. Класифікація конструкційних матеріалів, будова, властивості та методи дослідження конструкційних матеріалів,.....	5
2. Лабораторна робота 2 Металографічний аналіз металів і сплавів.....	12
3. Лабораторна робота 3 Механічні властивості конструкційних матеріалів	25
4. Лабораторна робота 4 Вивчення будови подвійних діаграм на прикладі сплаву «свинець сурма».....	35
5. Лабораторна робота 5 Вивчення мікроструктури залізовуглецевих сплавів (сталей і чавунів)».....	48
6. Лабораторна робота 6 Термічна обробка вуглецевих сталей.....	61
7. Лабораторна робота 7 Мікроструктурний аналіз сталей після хіміко-термічної обробки.....	80
8. Лабораторна робота 9 Дослідження структури та властивостей сплавів на основі міді (Латуней та бронз).....	86
9. Лабораторна робота 8 Дослідження структури та властивостей алюмінієвих сплавів (ливарних та деформованих).....	92
Список літератури.....	97

## ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Тематика лабораторних робіт відповідає навчальній програмі з дисципліни і підбрана таким чином, щоб розширити та поглибити знання, отримані при прослуховуванні лекцій, допомогти студентам набути практичних навичок дослідницької роботи, результатом якої є експериментальне підтвердження теоретичних положень.

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та поклали свій підпис у відповідному журналі. Лабораторні роботи проводяться під наглядом викладача чи лаборанта. Студентам забороняється самостійно вмикати чи вимикати устаткування.

Кожна робота лабораторного практикуму розрахована на 4 академічні години. Перед виконанням лабораторної роботи студент має засвоїти теоретичний матеріал по темі, ознайомитися з метою проведення роботи, методикою та порядком її виконання, відповідним устаткуванням та інструментами, вміти відповісти на контрольні питання.

Після проведення досліджень та обробки результатів студент має акуратно оформити звіт згідно вимог до кожної лабораторної роботи, здати на перевірку викладачу та захистити його. Захист може проводитися усним опитуванням або письмово.

Результати виконання лабораторної роботи та захист оцінюються за вітчизняною чотирибальною шкалою.

Лабораторна робота оцінюється на:

- «відмінно», якщо студент повно, послідовно та логічно виклав відповіді на питання, представив оформлений згідно вимог звіт;

- «добре», якщо студент представив оформлений згідно вимог звіт, дав повні, послідовно та логічно викладені, але з деякими неточностями відповіді на питання, або одна із відповідей є недостатньо повною при повних відповідях на інші питання;

- «задовільно», якщо студент представив оформлений згідно вимог звіт, але дав неповні або поверхневі відповіді на поставлені питання;

- «незадовільно», якщо захист, зміст якого висвітлено неповно, містить принципові помилки в фаховій термінології, неточності при викладенні матеріалу. Відсутня акуратність графічного оформлення схем, таблиць, рисунків, графіків тощо.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

### «КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ,»

#### 1. МЕТА РОБОТИ

Ознайомитися з основними (металічними) властивостями конструкційних матеріалів, зокрема металів та сплавів, їхньою будовою, властивостями та методами досліджень.

#### 2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Зразки досліджуваних матеріалів.

наждачний папір,

2.2. Комплект шліфувального паперу, надфіль, мікроскоп, магніт, піпетка з водою, піпетка з кислотою, піпетка з розчинником.

2.3. Мікрошліфи металу після шліфування на грубому і тонкому шліфувальному папері (по 4 шт. кожного виду). Зразки зламів виробів макротемплетів.

2.5. Тестер.

#### 3. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1. **Матеріалознавство** – наука про будову, склад та властивості матеріалів, металів, сплавів на їх основі, полімерних матеріалів, неметалічних матеріалів, композиційних матеріалів, наноматеріалів... Ця наука дозволяє знайти взаємозв'язок між будовою, складом та властивостями відповідних матеріалів з метою покращення властивостей, надання заданих властивостей шляхом використання відповідних технологій чи технологічних операцій таблиця 1.

СКЛАД	БУДОВА	ВЛАСТИВОСТІ
Метал/домішки	Кристалічна	Міцність, пластичність, твердість

2. **Метали** ( від грец. *μέταλλον* — «шахта», «кар'єр», «добування з надр землі») — клас хімічних елементів і речовин з такими хімічними та фізичними властивостями:

- добре проводять електричний струм і тепло,
- непрозорі, але здатні відбивати світло (мають *металічний блиск*),
- ковкі, що дозволяє надавати виробам з них потрібної форми та розвальцьовувати їх,
- пластичні, що дає можливість витягати їх у тонкий дріт.

3. **Механічні властивості** – це характеристики, які визначають поведінку матеріалів (металів) під дією зовнішніх механічних сил. До основних механічних властивостей відносяться: **міцність, пластичність, твердість**. Під дією зовнішніх сил у металах відбувається пластична деформація, метал змінює свою форму, розміри. При досягненні певних значень зовнішніх сил метал руйнується. Отже, для кожного металу існує певна межа прикладених зовнішніх сил, до якої він деформується, але зберігає цільність, тобто ще не руйнується. Так і визначають **границю (межу) міцності металів**, яка являє собою навантаження, що передує моменту руйнування. Ця характеристика вимірюється в кгс/мм<sup>2</sup> або МПа позначається  $\sigma_{\text{тимч}}$ . Здатність металу змінювати форму і розміри без руйнування до певного навантаження характеризує пластичність. Ця характеристика, як і міцність, дуже важлива оскільки дає можливість різним виробам не руйнуватись під дією ударів, вібрацій тощо, а також одержувати такі вироби як різні ємкості, труби, різні профілі прокату, дрід і таке ін. методами пластичної деформації. Показниками пластичності служать **відносне видовження ( $\delta$ ) та звуження ( $\psi$ )**, які визначаються при випробовуваннях зразків на спеціальному обладнанні

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \cdot 100\%$$

$L_0$  – початкова довжина;  $F_0$  – початковий переріз;

$L$  – після руйнування.  $F$  – після руйнування.

**Твердість** – це здатність матеріалу чинити опір вдавлюванню в нього твердого тіла (індентора). Найбільш поширені методи визначення твердості: по Брінеллю (НВ), Роквеллу (HRB, HRC, HRA), Віккерсу (HV). Значення НВ і HV виражаються в МПа, твердість по Роквеллу в безрозмірних одиницях, які можна перевести в НВ за допомогою таблиць. Між НВ і  $\sigma_{\text{тимч}}$  існує певний зв'язок і для сталі  $\sigma_{\text{тимч}} = (0,33-0,36) \text{ НВ}$ , для сплавів міді  $\sigma_{\text{тимч}} = 0,45 \text{ НВ}$ , алюмінієвих  $\sigma_{\text{тимч}} = 0,35 \text{ НВ}$ . Міцність сірого чавуну можна приблизно оцінити за співвідношенням:

$$\sigma_{\text{Т ИМЧ}} = \frac{\text{НВ} - 40}{6}$$

Метод Брінелля полягає в тім, що загартована сталева кулька діаметром 10; 5 або 2,5 мм вдавлюється в поверхню металу під різним навантаженням: 3000, 1000, 750, 250 кгс (або МПа). Діаметр кульки та навантаження (P) вибирають в залежності від матеріалу. Для незагартованої сталі та чавуну діаметр кульки 10 мм, а P=3000, або 1000 кгс, для кольорових сплавів P=1000 або 500 кгс. Потім вимірюють діаметр відбитка, який утворився на поверхні, і по таблицям визначають твердість. Позначення: HB200.

Метод Роквелла полягає в тім, що вдавлюється загартована сталева кулька Ø 1,58мм, при навантаженні 100 кгс (для порівнянно м'яких металів), або алмазний конус при навантаженнях 60 або 150 кгс (відповідно 600 або 1500 МПа) для твердих металів, наприклад загартованих сталей. Позначення відповідно: HRB, HRA, HRC.

Методом Віккерса, де індентором служить алмазна піраміда, можна вимірювати твердість дуже тонких шарів металів (десяті доли мм).

#### 4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Визначити основні терміни, показники, характеристики і поняття, які використовуються в роботі.

4.2. Ідентифікувати досліджувані зразки, які видаються індивідуально кожному студенту (види проб, їхня форма і розміри (**зовнішній вигляд, блиск, колір, електропровідність, теплопровідність дія на магніт, хімічні речовини**)). таблиця 2.

	Зовнішній вигляд	Властивість : колір, блиск, електропровідність, теплопровідність, магнітні властивості, ковкість (крихкість) корозійна стійкість	Значення	Примітка
№ з/п				

Примітка. Металічні властивості визначити органолептично доступними методами, шляхом порівняння властивостей матеріалів.

4.3. Зробити ідентифікацію матеріалів та систематизацію за схемою. таблиця 3. Додаток.

Метали		Неметалічні матеріали			
Метали	Сплави	Полімери	Композитні матеріали	Керамічні матеріали	Наноматеріали

4.4. Представити твердість та інші механічні властивості досліджуваних матеріалів (на основі довідникової літератури) таблиця 4.

Метали	Густина, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура плавлення.	Границя міцності, $\sigma_b$ , МПа	Відносне видовження, $\delta$ , %	Твердість	Лінійний коефіцієнт теплового розширення, $\alpha$ , при 20 °С (10 <sup>-6</sup> /°С)
Залізо	7860	1539	300	21...55	50...70	11,5
Алюміній	2700	660	80...110	40	20...30	23,1
Мідь	8930	1083	220	60	35	16,5
Магній	1740	651	170...200	10...12	25...30	25,7
Нікель	8900	1455	400...500	40	60	13,9
Титан	4500	1665	300...550	20...30	100	1,2
Молибден	10200	2620	800...1200	46	150...160	5,8...6,2

і дані занести в таблицю.

№з/п	Назва	Густина	Твердість	Ударна Вязкість	Границя міцності	Модуль пружності

4.5. Встановити взаємозв'язок у системі «склад-будова-властивості»



4.6. Сформулювати основні експлуатаційні вимоги до деталі механізму (матеріалу) з огляду фізико- механічних властивостей. Вимоги до матеріалу представити з огляду вагомості вимог. Наприклад: найвагоміша – твердість, менш вагома –міцність, ... відповідно корозійна стійкість та вартість (доступність)

4.7. Аналіз та узагальнення отриманих результатів. Порівняти властивості матеріалів, спрогнозувати їхні переваги та недоліки та можливі сфери застосування. Висновки і рекомендації.

### **5. ЗМІСТ ЗВІТУ**

4. Мета роботи. Ознайомитися з основними (металічними) властивостями конструкційних матеріалів, зокрема металів та сплавів. Представити основні властивості матеріалів. Систематизувати властивості матеріалів. Представити будову матеріалів. Запропонувати сфери застосування виходячи з рекомендацій таблиця 5.

Склад	Будова	Властивості	Сфери застосування

### **6. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ**

Кожен студент при роботі з електрообладнанням і хімічними реактивами зобов'язаний виконувати правила техніки безпеки, встановлені інструкціями кафедри. Вхідний інструктаж з техніки безпеки фіксується у журналі.

### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Що вивчає матеріалознавство?
  2. Взаємозв'язок між складом, будовою та властивостями матеріалів.
  3. Загальні відомості про конструкційні матеріали. Класифікація конструкційних матеріалів?
  4. Основні властивості металів. Класифікація металів.
  - 5.Металічний тип зв'язок, електронна будова металів.
  6. Загальні властивості матеріалів та їх класифікація .
  7. Що таке твердість, міцність, пластичність?
  8. Основні фізичні та механічні властивості металів.
  - 9.Основні принципи вибору конструкційних матеріалів.
- Додаток.



## 2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

### «МЕТАЛОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ»

#### 1. МЕТА РОБОТИ

Вивчити технологію приготування макро- і мікрошліфів. Ознайомитися з будовою металографічного мікроскопа. Усвідомити принцип виявлення структур та практичне їх значення для металографічного аналізу.

#### 2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Верстат для шліфування й полірування мікрошліфів.

2.2. Металографічний мікроскоп МИМ-7.

2.3. Мікрошліфи металу після шліфування на грубому і тонкому шліфувальному папері (по 4 шт. кожного виду). Зразки зламів виробів макротемплетів.

2.4. Поліровані мікрошліфи технічного заліза, вуглецевої сталі і сірого чавуну (по 4 шт. кожного матеріалу).

2.5. Комплект шліфувального паперу для виготовлення мікрошліфів.

2.6. Матеріали для полірування мікрошліфів – паста алмазна, порошки оксидів –  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ .

2.7. Реактив для травлення – 3-4% розчин азотної кислоти ( $HNO_3$ ) в етиловому спирті.

2.8. Етиловий спирт для промивання мікрошліфів. Фільтрувальний папір.

#### 3. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1. Металографічний аналіз поділяється на макро- і мікроаналіз. *Макроаналіз* полягає в дослідженні будови сплавів неозброєним оком або при невеликих збільшеннях (до 30 разів). Будова металів і сплавів, яка визначається таким методом, називається *макроструктурою*. Макроструктуру можна вивчати безпосередньо на поверхні виливки, поковки деталі або за зломом. Найчастіше макроструктура вивчається на макрошліфах. *Макрошліфом* називається спеціально підготовлена до макродослідження частина деталі, поковки, виливки і т. п.

Підготовка макрошліфа полягає в такому: поверхню зачищають на верстаті і шліфують різними номерами металографічного наждачного паперу, послідовно переходячи від грубого номера до тонкого,

кожен раз макрошліф повертають на 90°. Шліфування в одному напрямку проводять до того часу, поки не зникнуть риски від паперу попереднього номера.

Після шліфування для виявлення макроструктури шліфи піддають глибокому травленню хімічними реагентами (розчинами і сумішшю кислот і лугів), які вибирають залежно від складу сплаву і мети дослідження.

Макроаналіз дозволяє встановити:

1) будову металу або сплаву в литих деталях або зливках (зерниста, дендритна), наявність і характер розподілу зон кристалізації, усадочну пухкість, газові бульбашки, тріщини і т.д.;

2) хімічну неоднорідність (*ліквацію*), яка утворюється в процесі кристалізації. Сірка, фосфор і вуглець у процесі кристалізації мають здатність до нерівномірного розподілу по перерізу зливка, що дуже позначається на властивостях окремих його ділянок. Подальшою механічною обробкою ліквідація не усувається;

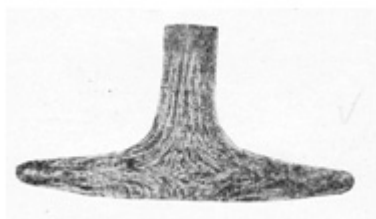
3) будову металу після гарячої обробки тиском (прокатування, штампування, кування і т.д.). Після обробки тиском внутрішня будова металів і сплавів виходить більш щільною, ніж після лиття, тому що в процесі гарячої обробки тиском частково усуваються пористість, пухкість, тріщини і т. д.

У процесі обробки тиском структурні складові, а також неметалічні включення подрібнюються й витягуються уздовж напрямку деформації, утворюючи поздовжню волокнистість. Механічні властивості металу виявляються різними залежно від напрямку волокна. Ударна в'язкість поперек волокна в 3-4 рази вища, ніж уздовж волокна. Для деталей, що працюють при підвищених питомих навантаженнях (колінчасті вали, клапани, зубчасті колеса і т. д.) необхідно, щоб волокна розташовувалися паралельно контуру деталі. Це досягається правильним вибором способів обробки тиском (рис. 1,а), якими виготовляють деталі. На рисунку 1,б наведено сполучний гак залізничного вагона, вихідною заготовкою якого була частина прокату з середньовуглецевої сталі. Хімічне травлення виявило волокнисту структуру: волокна повторюють форму гака. Поперечний переріз верхньої частини головки рейки з високовуглецевої сталі (рис. 1,в) практично ідентичний перерізу вихідного зливка, тому можна спостерігати основні зони кристалізації. Осьова зона ліквідації в центрі головки має вигляд точок, які є поперечними перетинами довгих волокон. Ця зона ліквідації звужується в шийці рейки, а потім розширюється в її підшві. Щоб уникнути утворення вертикальних тріщин у центрі підшви, стовпчасті дендрити злитка розгортають паралельно нижній грані підшви, прокатуючи

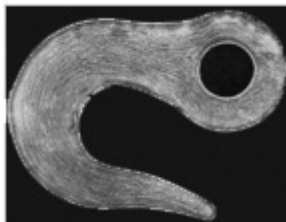
блєм у розрїзних калїбрах. Поздовжній перерїз натяжного болта для дерев'яних шпал (рис. 1,г) має повністю волокнисту структуру (головка і рїзьблення). Рїзьба отримана методом гарячої накатки в поєднанні з крученням вихідної круглої заготовки;

4) неоднорідність складу і структури, що створюється термічною або хїміко-термічною обробкою. Деталї, які повинні мати високу поверхневу твердїсть при збереженні в'язкої, пластичної серцевини, як правило, піддаються поверхневому гартуванню або хїміко-термічній обробцї. Макроаналїз визначає глибину і характер розподїлу загартованого, цементованого, азотованого чи цїанованого шару (рис. 1а, б);

5) характер зламу металу або сплаву. За зломом можна встановити характер руйнування: в'язке, крихке або викликане втомленїстю.



а



б



в



г

Рис. 1 – Макроструктура правильно відштампованих деталей: клапан (а), сполучний гак залїзничного вагона (б), верхня частина головки

рейки (поперечний переріз) (в), натяжний болт для дерев'яних шпал (г).

**Мікроструктурний аналіз (мікроаналіз)** являє собою дослідження внутрішньої будови (мікроструктури) металу при великих збільшеннях за допомогою металографічного оптичного мікроскопа (при збільшенні від 50 до 1500 разів, великих збільшеннях) на спеціально підготовлених зразках. Він дозволяє визначити структуру металів і сплавів після пластичної деформації, термічної обробки й інших технологічних операцій, установити форму, розмір і характер розподілу структурних складових.

Між мікроструктурою і властивостями багатьох металів і сплавів існує якісна залежність. Тому мікроструктурний аналіз – один з основних методів, який надає можливість вивчати будову металів і сплавів, а отже, отримати відомості про їх властивості.

Зразок, підготовлений для дослідження мікроструктури металу за допомогою металографічного мікроскопа, називається **мікрошліфом**.

Техніка підготовки мікрошліфа містить такі операції:

- вирізання і торцювання зразка;
- шліфування поверхні;
- полірування поверхні;
- травлення поверхні;
- дослідження мікроструктури під мікроскопом.

Зразки для виготовлення мікрошліфів найбільш зручно виготовляти з площею перерізу  $1 \text{ см}^2$  (рис. 2). При виготовленні мікрошліфів із зразків малих розмірів (дріт, стружка, листи та ін.) для їх надійної фіксації використовують спеціальні струбцини (рис.2,в) або заливають легкоплавким сплавом Вуда (50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn і 12,5% Cd) з температурою плавлення  $68^\circ\text{C}$  або пластмасою (рис. 2,б).

Зразок вирізають з тієї частини виробу або заготовки, яка становить найбільший інтерес для дослідника. Для того щоб поверхня зразка була прямолінійною, її заторцюють за допомогою абразивного круга або напилка. Щоб структура зразка не змінювалася при вирізанні і заторцюванні, він не повинен нагріватися більше  $150^\circ\text{C}$ .

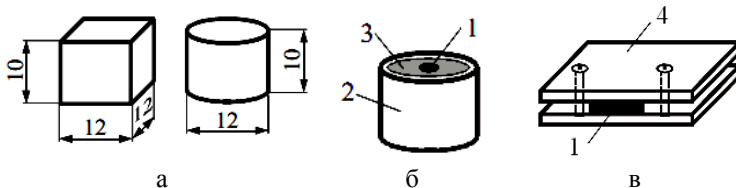


Рис. 2 – Металографічні шліфи: нормальні розміри шліфів (а); шліф, залитий пластмасовим або легкоплавким сплавом (б); шліф, затиснутий у струбціні (в). 1 – зразок, 2 – оболонка для заливання, 3 – сплав для заливання, 4 - струбціна

Шліфування проводять з метою видалення рисок, царапин. Воно реалізується на спеціальних верстатах, що мають кола для закріплення шліфувального паперу. Для попереднього (чорнового) шліфування використовується папір перших чотирьох номерів, для чистового – з більш дрібними абразивними зернами. При переході з одного номера паперу на інший зразок завжди слід шліфувати у напрямку, перпендикулярному до рисок (подряпин), що залишилися після шліфування на папері попереднього номера.

Перед поліруванням зразки промивають водою для видалення залишків частинок абразивного матеріалу після шліфування. Полірування проводиться на полірувальному верстаті із швидкісним диском. Диск обтягнутий фетром, сукном або оксамитом, які змочуються спеціальним абразивом на водній основі. Як абразив використовують оксид хрому ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) або оксид алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). При поліруванні зразок треба повертати. Після полірування шліф ретельно промивають водою, потім спиртом і просушують, промокаючи фільтрувальним папером.

На нетравленому мікрошліфі виявляються неметалеві включення: графіт, оксиди, сульфід, бориди і т.д.

Для виявлення структури металу шліф після полірування слід піддати травленню спеціальним реактивом. На протравленому мікрошліфі під мікроскопом виявляються границі, величина і форма зерен, наявність, розташування і співвідношення в сплавах структурних складових. Для травлення мікрошліфів найбільш поширеними є такі реактиви:

для **сталей і чавунів**:

- 3-5% розчин азотної кислоти ( $\text{HNO}_3$ ) в етиловому спирті;
- 3-5% розчин пікринової кислоти у спирті;
- пікрат натрію – реактив для розрізнення цементиту від фериту (цементит забарвлюється у чорний колір);

для **алюмінієвих сплавів**:

- 0,5% розчин фтористої кислоти (HF) у воді;
- суміш кислот: 1% фтористої (HF), 2,5% азотної ( $\text{HNO}_3$ ), 1,5% соляної (HCl) та 95% води ( $\text{H}_2\text{O}$ );

для **мідних сплавів**:

- 8% розчин  $\text{CuCl}_2$  в аміаці.

При травленні поліровану поверхню шліфа занурюють у реактив на 3-15 с або протирають ваткою, змоченою в реактиві, до появи рівного матового відтінку без наявності будь-яких плям.

Потім шліф промивають спиртом або водою і просушують фільтрувальним папером.

Будь-який метал або сплав є полікристалічним тілом, тобто складається з великої кількості різних орієнтованих кристалітів чи зерен. На межах зерен (навіть найчистіших металів), як правило, розміщуються різні домішки. Крім того, межі зерен мають більш спотворену кристалічну будову, ніж тіло зерна. Під дією травника, внаслідок різного потенціалу зерна та його межі для чистих металів або різних структурних складових для сплавів утворюються мікроскопічні гальванічні пари. Межі зерен, а також структурні складові з більш низьким потенціалом будуть розчинятися швидше, ніж тіло зерна або структури з більш високим потенціалом. Механічні суміші різних структур (евтектика, евтектоїд) піддаються травленню швидше, ніж однофазні структури (чисті метали, тверді розчини), оскільки в першому випадку утворюється велика кількість гальванічних пар. Крім того, різниця потенціалів у різних структур у більшості випадків більша, ніж у однорідного сплаву і його межах.

У результаті неоднакового травлення структурних складових на поверхні шліфа з'являється мікрорельєф. При розгляді мікросліфа в оптичному мікроскопі цей мікрорельєф буде створювати поєднання світла й тіні. При травленні шліфа особливо сильно роз'їдаються межі зерен. Крім того, внаслідок анізотропії властивостей кристалів зерна металу витравлюється реактивом на різну глибину. Утворений мікрорельєф поверхні шліфа спостерігається під мікроскопом. Структура, яка протравлена сильніше, під мікроскопом має темний колір за рахунок більшого розсіювання променів. Менш протравлена структура за рахунок прямого відбиття світла має світлий колір. Межі зерен протравлюються у вигляді тонкої темної сітки. Зерна металу одного й того ж самого фазового складу під мікроскопом можуть мати різні відтінки. Це пояснюється потраплянням в площину шліфа різних перерізів кристалічної ґратки зерен, що відрізняються між собою здатністю протравлюватися, а також іншими властивостями (рис. 3).

Фізики створили прилади для дослідження структури металів. До таких приладів належить металографічний мікроскоп (рис. 4). Звичайний (біологічний) мікроскоп не використовується для дослідження металів, тому що в його оптичній схемі світло від джерела проходить через досліджуваний зразок. Метал не пропускає світлові промені, тому для дослідження металів розробили іншу схему від-бивного мікро-



скопа. В цьому типі мікроскопа світло потрапляє на поверхню досліджуваного зразка і після відбивання спрямовується в об'єктив мікроскопа і через систему лінз та окуляр - до ока спостерігача.

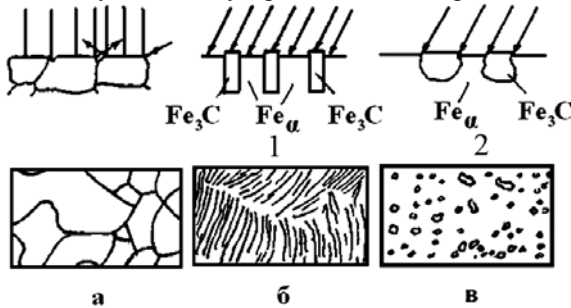


Рис. 3 – Схема, що пояснює видимість під мікроскопом: а – межі зерен чистих металів та твердих розчинів; б – механічна суміш; 1 – пластинчаста будова перліту; 2 – зерниста будова перліту

Принципова оптична схема металографічного мікроскопа МИМ-7 наведена на рисунку 5.

Збільшення мікроскопа  $N_m$  визначається добутком збільшення окуляра  $N_{ок}$  на збільшення об'єктива  $N_{об}$ :

$$N_m = N_{ок} \cdot N_{об} = (250 \cdot L) / (f_{ок} \cdot f_{об}),$$

де:  $L$  – оптична довжина тубуса;

250 – відстань найкращого бачення ока людини, мм;

$f_{ок}$  і  $f_{об}$  – фокусні відстані об'єктива та окуляра.

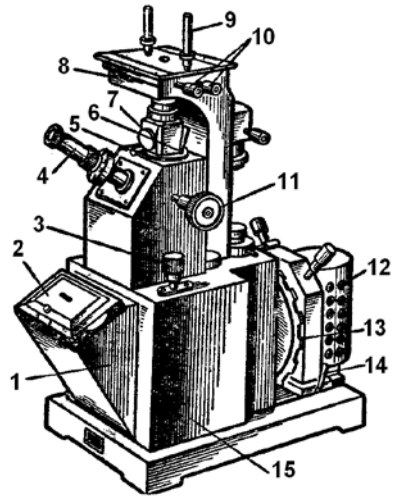
Об'єктив дає дійсне збільшене зображення структури. Це зображення за допомогою лінзи 14 (рис. 5) переноситься в площину, близьку до фокуса окуляра. Окуляр, як звичайна лупа, збільшує зображення, отримане об'єктивом, в результаті чого остаточне зображення виходить уявним, зворотним, збільшеним і знаходиться на відстані 250 мм від ока спостерігача.

Необхідно звернути увагу на таке: якість мікроскопа характеризується роздільною здатністю і так званим корисним збільшенням. **Роздільна здатність** – найменша, мінімальна відстань між двома точками, на якій ці дві точки ще можна бачити окремо.

Можливе збільшення мікроскопа МИМ-7 при різних поєднаннях об'єктивів і окулярів наведено в таблиці 1.



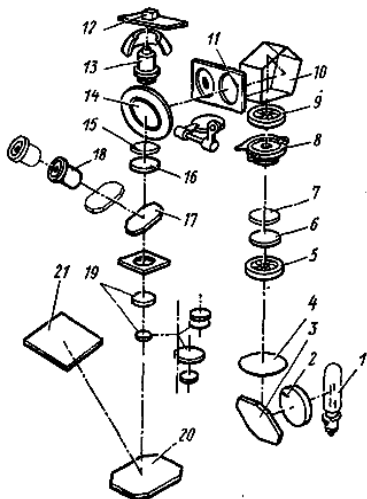
а



б

Рис. 4 – Загальний вигляд мікроскопа МИМ-7: а – фото; б – схема: 1 – фотокамера; 2 – касета з матовим склом; 3 – мікро-метричний гвинт подачі об'єктива; 4 – окуляр; 5 – аналізатор, що вставляється у паз під корпус люмінатора; 6 – рукоятка діафрагми темного поля; 7 – люмінатор; 8 – предметний столик; 9 – клеми для фіксації мікрошліфа; 10 – гвинти для переміщення предметного столика; 11 – гвинт грубої подачі предметного столика; 12 – джерело світла (освітлювач); 13 – диск з набором світлофільтрів; 14 – рукоятка, що закріплює джерело світла; 15 – корпус приладу

Рисунок 5 – Оптична схема приладу при роботі у світлому полі: 1 – лампа; 2 – колектор; 3, 16, 18 – дзеркала; 4 – світлофільтр; 5 – апертурна діафрагма; 6, 10 – лінзи; 7 – фотозатвор; 8 – польова діафрагма; 9 – пента-призма; 11 – відбивна пластинка; 12 – об'єктив; 13 – площина предмета; 14 – ахроматичні лінзи; 15 – фотоокуляр; 17 – матова пластинка; 19 – окуляр; 20 – вкладний аналізатор; 21 – поляризатор



Таблиця 1 – Збільшення мікроскопа МИМ-7 при різних поєднаннях об'єктивів і окулярів

Об'єктиви	Окуляри			
	7 <sup>x</sup>	10 <sup>x</sup>	15 <sup>x</sup>	20 <sup>x</sup>
Для світлого і темного полів				
8,6 <sup>x</sup> (F=23,2, A=0,17)	60	90	130	170
14,4 <sup>x</sup> (F=13,89, A=0,30)	100	140	200	300
24,5 <sup>x</sup> (F=8,16, A=0,37)	170	240	360	500
32,5 <sup>x</sup> (F=6,16, A=0,65)	250	320	500	650
Імерсійні				
72,2 <sup>x</sup> (F=2,77, A=1,25)- тільки для світлого поля	500	720	1080	1440
71,7 <sup>x</sup> (F=2,79, A=1,00) - тільки для темного поля	500	720	1080	1440
F- фокусна відстань об'єктива і окуляра A- числова апертура				

Роздільна здатність електронного мікроскопа значно більша, ніж оптичного, і дорівнює 20-30 Å.

Між мікроструктурою і властивостями багатьох металів і сплавів існує пряма якісна залежність. Тому в практиці металознавства мікроаналіз є основним методом, який дозволяє повно вивчати будову металів і сплавів, а отже, отримати відомості про їх властивості.

#### 4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитися з обладнанням та методикою виготовлення макро- і мікрошліфів.

4.2. Вивчити будову металографічного мікроскопа.

4.3. Визначити збільшення мікроскопа.

4.4. Отримати комплект шліфів: після грубого шліфування; після тонкого шліфування; поліровані шліфи тех-нічного заліза, вуглецевих сталей і чавунів.

4.5. Розглянути під мікроскопом зразки шліфів після різних стадій шліфування - грубого і тонкого. Намалювати вигляд поверхні.

4.6. Розглянути поліровані зразки під мікроскопом. Схематично зобразити мікроструктури, зазначивши будову сплавів (неметалеві включення, металеву основу).

4.7. Протравити шліфи технічного заліза, сталей, чавунів 4% розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

4.8. Дослідити мікроструктуру шліфів під мікроскопом після травлення.

4.9. Схематично накреслити мікроструктури технічного заліза, сталей і чавунів після травлення, зазначивши будову сплаву (межі зерен, зерна однорідної й неоднорідної будови, розміри зерен).

## 5. ЗМІСТ ЗВІТУ

Мета роботи. Опис технології приготування і травлення мікрошліфів, застосовуваних реактивів для травлення. Оптична схема металографічного мікроскопа, межі збільшень, роздільна здатність, корисне збільшення. Рисунки поверхні мікрошліфів після полірування і травлення та їх опис. Висновки із зазначенням особливостей будови досліджуваних сплавів, виявлених мікроаналізом до і після травлення; наявність неметалевих включень, дефектів; розмір і форми зерен.

## 6. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Кожен студент при роботі з електрообладнанням і хімічними реактивами зобов'язаний виконувати правила техніки безпеки, встановлені інструкціями кафедри.

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке атомно-кристалічна будова, макро- і мікроструктура?
2. Охарактеризувати мікроструктурний аналіз.
3. Які завдання вирішуються за допомогою мікроаналізу?
4. Дати визначення макро- і мікрошліфа.
5. Яким способом готуються мікрошліфи?
6. Якими реактивами проводиться травлення мікрошліфів з різних сплавів?

7. Завдяки чому після травлення мікрошліфа під мікроскопом виявляється його мікроструктура?
8. Металографічний мікроскоп і його будова.
9. Які межі збільшення металографічного мікроскопа МИМ-7?
10. Як визначити загальне збільшення мікроскопа?
11. Що називають роздільною здатністю мікроскопа?
12. Корисне збільшення мікроскопа і його визначення.

### 3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

## «МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ ( КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ)»

### 1. МЕТА РОБОТИ

Вивчити основні механічні властивості металів і сплавів методи їх дослідження та відповідні значення конкретних конструкційних матеріалів.

### 2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Зразки сталі 20:

2.2. Зразки мікрошліфів.

2.3. Стандартні зразки металів та сплавів придатних для визначення твердості, ударної в'язкості, деформації та міцності.

2.4. Твердоміри, розривна машина, маятниковий копер.

2.5. Металографічний мікроскоп.

### 3. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Область застосування металів визначається їх властивостями. Властивості металів поділяють на показники якості:

- **механічні** (ударна в'язкість, пластичність, міцність і твердість металу)
- **технологічні** (фізична і технологічна зварюваність, ковкість, плавкість, оброблюваність різанням)
- **фізичні** (колір, питома маса, тепла і електрична провідність, магнітні якості)
- **хімічні** (стійкість проти корозії, жароміцність)

**1. Деформація** – це зміна форми, розмірів і конфігурації тіла в результаті дії зовнішніх сил, що відбувається без зміни об'єму його тіла. Деформація може бути пружною і пластичною. При **пружній (зворотній) деформації** під дією зовнішніх сил відбувається зворотне спотворення кристалічної ґратки в зернах металу, при якому атоми, що знаходяться у вузлах кристалічної ґратки, зміщуються з положення рівноваги на відстані, що не перевищують параметру решітки. При знятті зовнішнього навантаження зміщені атоми повертаються в положення рівноваги. **Пластична деформація** після зняття прикладеного навантаження зберігається, тобто є залишковою, незворотною.

**2.Твердість** є однією з основних механічних характеристик матеріалів. Завдяки простоті метод визначення твердості знаходить найширше використання при дослідженні готових виробів, адже він не призводить до руйнування виробу і по твердості можна оцінити іншу важ-

ливу характеристики матеріалу - границю міцності. **Твердість** – це опір матеріалу проникненню в його поверхню стандартного тіла (індентора), що не деформується при випробуванні.

Це неруйнуючий метод контролю. Основний метод оцінки якості термічної обробки. Чим більше опір матеріалу пластичної деформації, тим вище твердість.

Найбільше поширення одержали методи Брінелля, Роквелла, Віккерса й мікротвердості. Схеми випробувань представлені на мал.

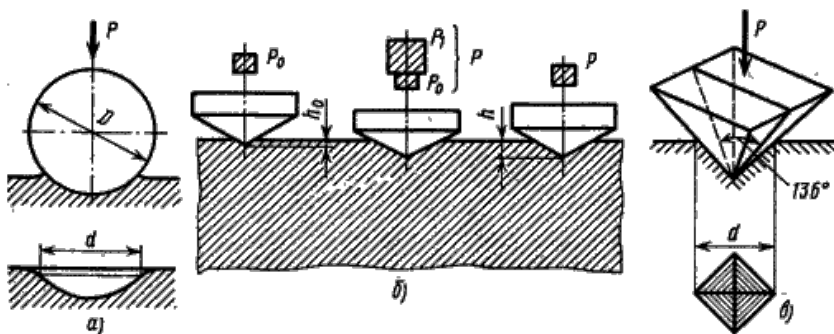


Рис .1.Схеми визначення твердості: *a* – по Брінеллю; *б* – по Роквеллу; *в* – по Віккерсу

З існуючих методів вимірювання твердості найбільш широко використовуються:

- метод Брінелля (втискання сталльної кульки);
- метод Роквелла (втискання алмазного конуса);
- метод Віккерса (втискання чотиригранної алмазної піраміди).

**2.1.Твердість за методом Брінелля - Держстандарт 9012, (ГОСТ 9012-59).** В якості індентору використовується стална загартована кулька діаметром 10; 5 або 2,5 мм, в залежності від товщини досліджуваного матеріалу, яка вдавлюється у поверхню матеріалу під навантаженням від 153 до 29400 Н (від 15,6 до 3000 кгс).

На поверхні зразка утворюється відбиток (лунка) у формі кульового сегмента діаметром  $d$  (рис.1,а).

Цей діаметр вимірюють за допомогою спеціального мікроскопа, на окуляр якого нанесена вимірювальна шкала з поділками, що дорівнюють одній десятій долі міліметра.

Діаметр відбитка визначають середнім значенням двох його вимірювань у взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0,05 мм. Число твердості за Брінеллем, яке позначається літерами **НВ** (**Н** - від англ. **hardness** - твердість, **В** – Брінелль), вимірюється відношен-

ням навантаження  $P$ , що діє на кульку діаметром  $D$ , до площі відбитка  $F$ :

$$HB = P / F = 2 P / \pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \text{ кгс/мм}^2 \quad (1)$$

Одиниця вимірювання твердості за Брінеллем -  $\text{кгс/мм}^2$ , або  $\text{МН/м}^2$  (МПа). В першому випадку твердість записується так: HB 200, HB 250, де 200; 250 - величина твердості в  $\text{кгс/мм}^2$ . Якщо твердість вимірюється в  $\text{МН/м}^2$ , то запис такий: HB 2000 МПа, HB 2500 МПа.

Діаметр кульки, навантаження та час витримки під навантаженням вибирають в залежності від очікуваної твердості та товщини матеріалу. При вимірюванні твердості кулькою певного діаметра з відповідним навантаженням на практиці користуються стандартною таблицею, в якій приводяться числа HB в залежності від діаметра лунки і відношення  $P/D^2$ .

При вимірюванні твердості за Брінеллем необхідно щоб:

- поверхня зразка була плоскою, чистою та гладкою;
- зразок повинен нерухомо лежати на столику-підставці під час вимірювання твердості;
- товщина зразка повинна бути не менша десятикратної глибини відбитка (більше 1...2 мм) ;
- відстань від центра відбитка до краю зразка повинна бути не менша  $2,5d$ , а між центрами двох сусідніх відбитків - не менша  $4d$ ; для металів з  $HB < 350$  відповідно  $3d$  і  $6d$ .

**2.2. Твердість за методом Роквелла –Держстандарт 9013, (ГОСТ 9012—83).** визначається шляхом вдавлювання в зразок індентора у вигляді алмазного конуса з кутом при вершині  $120^\circ$  або сталюї кульки діаметром 1,568 мм (1/16 дюйма - 1/16"). Навантаження на індентор здійснюється послідовно: спочатку попереднє  $P_0$ , що дорівнює 100 Н, потім основне  $P_1$ . Сума попереднього і основного навантаження складає загальне навантаження  $P$ , яке вибирається в залежності від індентора і очікуваної твердості (таблиця 1).



Таблиця 1. Умови вимірювання твердості за Роквеллом

Шкала	Позначення твердості за Роквеллом	Тип індентора	Межі вимірювання твердості в одиницях за Роквеллом	Навантаження, Н	Відповідна твердість за Брінеллем
A	HRA	Алмазний конус	70... 89	600	3750...782(
B	HRB	Сталева кулька	20...100	1000	1050...240
C	HRC	Алмазний конус	22.69	1500	2410...683»

За різницею глибин вдвлювання індентора під дією двох послідовних навантажень  $P_0$  і  $P_1$  роблять висновок про твердість матеріалу. Стрілка індикатора приладу Роквелла показує не цю різницю, а величину  $(100 - v)$  по чорній шкалі С або А та  $(130 - v)$  по червоній шкалі В, де  $v = (h_1 - h_0) / 0,002$ ;  $h_1$  і  $h_0$  глибина вдвлювання індентора при прикладанні відповідно повного та попереднього навантаження; 0,002 - умовна одиниця твердості (ціна поділки шкали індикатора приладу).

Одиниця твердості за Роквеллом - безрозмірна величина, що відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002 мм. Твердість за Роквеллом позначається так: HRB 30, HRC 60, HRA 80, тобто твердість 30 за шкалою В, 60 - за шкалою С, 80 - за шкалою А. Числа HRA можна перевести на числа HRC за формулою  $HRC = 2HRA - 104$ .

**2.3. Твердістьза методом Вікерса. Держжстандарт 2999.** визначається по величині відбитка У якості індентора використовується алмазна чотиригранна піраміда з кутом при вершині  $136^\circ$ .

Твердість розраховується як відношення прикладеного навантаження  $P$  до площі поверхні відбитка  $F$ :

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Навантаження  $P$  становить 5...100кгс. Діагональ відбитка  $d$  вимірюється за допомогою мікроскопа, встановленого на приладі. Перевага даного способу в тім, що можна вимірювати твердість будь-яких матеріалів, тонкі вироби, поверхневі шари. Висока точність і чутливість методу. Число твердості за Віккерсом HV визначають діленням навантаження  $P$  на площу бічної поверхні отриманого пірамідального відбитка  $F$ :

$$HV = 2 P \sin(\alpha / 2) / d^2 = 1,854 P / d^2, \text{ МПа} \quad (2)$$

де  $d$  - середнє арифметичне двох діагоналей відбитка;

$\alpha = 136^\circ$  - кут при вершині піраміди.

Твердість вимірюють в кгс/мм<sup>2</sup> і записують HV 200 без вказання одиниці вимірювання, або в Н/м<sup>2</sup> і записують з вказанням одиниці вимірювання, наприклад, HV 2000 МПа.

Числа HB і HV близькі за абсолютною величиною, однак тільки до значення приблизно HB 400. Вище цих значень метод Брінелля дає спотворені результати внаслідок залишкової деформації сталльної кульки. Алмазна піраміда в методі Віккерса дозволяє визначати твердість практично будь-яких металевих матеріалів.

**2.4.Спосіб мікротвердості. Держстандарт 9450**— для визначення твердості окремих їх структурних тридцятилітніх і фаз сплаву, дуже тонких поверхневих шарів (соті частки міліметра). Аналогічний спосіб Віккерса. Індентор - піраміда менших розмірів, навантаження при вдавненні  $P$  становлять 5...500 гс

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

**2.5.Метод дряпання.** Алмазним конусом, пірамідою або кулькою наноситься подряпина, що є мірою. При нанесенні подряпин на інші матеріали й порівнянні їх з мірою судять про твердість матеріалу. Можна нанести подряпину шириною 10 мм під дією певного навантаження. Спостерігають за величиною навантаження, що дає цю ширину.

**2.Ударна в'язкість матеріалів. ДЕРЖСТАНДАРТ 9454 - 78** позначається KCV. KCU. KCT. KC - символ ударної в'язкості, третій символ показує вид надрізу: з радіусом закруглення (U), гострий (V), тріщина (T) рис.2.

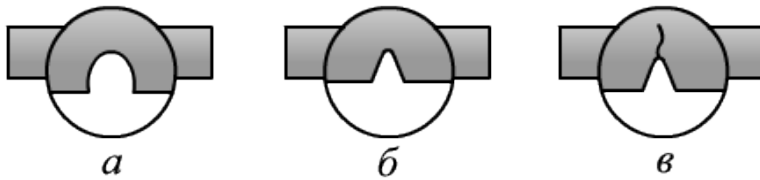


Рис. 2. Види надрізів на зразках для випробування на ударну в'язкість: *a* — *U*-подібний надріз (ККУ); *б* — *V*-подібний надріз (КCV); *в* — надріз із тріщиною (КСТ)

Ударна в'язкість характеризує надійність матеріалу, його здатність протидіяти ударному руйнуванню. Випробування проводять на зразках з надрізами певної форми й розмірів.

Зразок установлюють на опорах копра надрізом убік, протилежну удару ножа маятника, що піднімають на певну висоту.

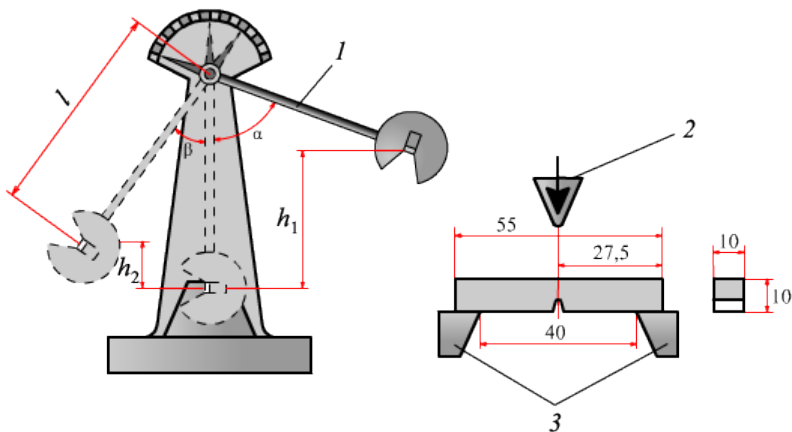


Рис. 3. Випробування на ударну в'язкість: 1-маятник, 2-ніж маятника, 3-опори.

На руйнування зразка затрачається робота:

$$A = P(H - h)$$

Де: *P* – вага маятника, *H* – висота підйому маятника до удару, *h* – висота підйому маятника після удару. Вплив температури на пластичний і тендітний стан.

Характеристикою в'язкості є *ударна в'язкість* ( $a_u$ ), - питома робота руйнування.

$$\alpha_n = \frac{A}{F_0}$$

де:  $F_0$  - площа поперечного перерізу в місці надрізу.

Випробовують серію зразків при різних температурах і будують криві ударна в'язкість – температура ( $a_n - T$ ), визначаючи пороги холодноламкості.

Поріг холодноламкості - температурний інтервал зміни характеру руйнування, є важливим параметром конструкційної міцності. Чим нижче поріг холодноламкості, тим менш чутливий метал до концентраторів напруг (різкі переходи, отвори, ризики), до швидкості деформації.

#### 4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ЗМІСТ ЗВІТУ

4.1. Визначити твердість зразків, взятих для дослідження. Результати записати в таблицю 1.

4.2. Дано три зразки із сталей невідомих марок (один із зразків із сталі 45). Визначити твердість за Брінеллем кожного зразка і спрогнозувати марку сталі.

Таблиця 1

Стан металу	Висота зразка $l$ , мм	Ступінь деформації зразка, %	Твердість		
			після деформації	після нагріву, °C	
				200	400
Вихідний стан					
10 т					
20 т					
30 т					
40 т					
50 т					

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які властивості називаються механічними, технологічними, експлуатаційними?
2. Що характеризує поняття "оброблюваності матеріалу"?
3. Чим визначається оброблюваність матеріалу тиском, литтям, зварюванням, різанням?
4. Які властивості відносяться до механічних, технологічних?

5. Metodi viznachennja tverdsti.
7. Ščo nazivaetsja udarnju v'язkistju?
8. V čomu poľagaє metodika viznachennja udarnju v'язkosti?
9. V čomu poľagaє metodika viznachennja obrubljuvanosti rizan-  
njam?
10. V čomu poľagaє metodika viznachennja tverdsti za Brinellom,  
Rokvellom, Vikkersom?
11. Jke značennja dla inženerv-mexanikiv maють znannja tehnolo-  
gičnix, mexaničnix vlastivostej konstrukčijnix materijaliv?

Додаток.

GROUP HUTA OSTROWIEC  
Producent/Producent/Produttore/Works  
Celsa Huta Ostrowiec sp. z o.o.  
27400 Ostrowiec Sw. ul. Samobronowicza 2  
POLSKA/POLAND

**CE**  
1458

**06**

CZDKP nr 1458-CPR-FPC-01-2017

Norma zharmonizowana EN 10025-1:2004  
Nr ref. Deklaracji Właściwości Użytkowych/Declaration of performance No  
04/2017  
Zamierzone przeznaczenie / Intended uses  
Konstrukcje metalowe lub konstrukcje zespolone metalowo-betonowe.  
Metal structures or in composite metal and concrete structures.

**CELSAH**  
Kątowniki równoramienne/ Equal angles  
L EN 10056-1:2017, EN 10056-2:1993  
**L50X4** - EN 10056-1:2017

Tolerancje wymiarów i kształtu - spełnione  
Granica plastyczności Re min. 275MPa  
Wytrzymałość na rozciąganie Rm 410-510MPa  
Wydłużenie względne A5 min. 26%  
Trwałość/Spawalność  
C max 0,17%; Mn max 1,40%; P max 0,040%; S max 0,040%  
N max 0,012%; Cu max 0,55%; CEV max 0,25%  
Praca łamania KV min. 27J (sprawdzona po uzgodnieniu)  
Deklaracja właściwości użytkowych, instrukcja obsługi  
i bezpieczeństwa oraz Oświadczenie REACH  
patrz <http://long.celsaho.com/Products.myc/Declarations>

Gatunek stali  
Steel grade **S235JR/S275JR + AR**

Wytop  
Heat No **H0540054**

CieŜar  
Weight [kg] **2502**

Profil  
Size [mm] **L50X4**

Długość  
Length [m] **6**

2017-07-15 05:55:34 LINE 2 - 0 0020

**3510165536**



**3510165536**

#### 4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

### «ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ПОДВІЙНИХ ДІАГРАМ НА ПРИКЛАДІ СПЛАВУ «СВИНЕЦЬ-СУРМА». МІКРОАНАЛІЗ І ПОБУДОВА КРИВОЇ ОХОЛОДЖЕННЯ»

#### 1. МЕТА РОБОТИ

На конкретному прикладі засвоїти принцип побудови діаграм стану подвійних систем. Надбати навичок у вивченні сплавів методами термічного і металографічного досліджень. Побудувати криві охолодження і діаграму стану «свинець – сурма». Вивчити мікроструктури компонентів і подвійних сплавів даної системи.

#### 2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

**Сплав** – речовина, отримана в результаті взаємодії двох або більше компонентів.

**Компонентами** називаються чисті елементи (метали та неметали), а також стійкі хімічні сполуки, що утворюють сплав. При формуванні сплаву атоми компонентів, що його утворюють, намагаються розташуватися в кристалічній ґратці таким чином, щоб вільна енергія досягла свого найменшого значення.

**Фазою** називається однорідна за хімічним складом і кристалічною будовою частина системи, відокремлена від інших частин поверхнею розділу, при переході через яку стрибкоподібно змінюються хімічний склад, агрегатний стан або кристалічна структура речовини. Фазами можуть бути чисті метали і неметали, можливі їх алотропічні модифікації, хімічні сполуки, рідкі та тверді розчини.

**Системою** називається сукупність фаз, що знаходяться в рівновазі при певних зовнішніх умовах. Дана залежність виражається правилом Гіббса (правилом фаз):

$$C = K - \Phi + n,$$

де  $C$  - число ступенів вільності;

$K$  - кількість компонентів, що утворюють систему;

$\Phi$  - кількість фаз, що утворюють систему;

$n$  - число зовнішніх факторів (температура і тиск).

**Число ступенів вільності** - це кількість незалежних факторів (температура, тиск, концентрація), зміна яких не приводить до зміни стану рівноваги системи, тобто до зміни числа фаз, що знаходяться в рівновазі. Враховуючи, що всі перетворення в металах і сплавах відбу-

ваються практично при сталому тиску, для металевих систем змінним зовнішнім фактором буде тільки температура, тобто  $n = 1$ ;

Тоді дане рівняння буде мати вигляд:

$$C = K \cdot \Phi + 1 \quad (P = \text{const}).$$

У металевих сплавах (системах) зовнішніми чинниками, що впливають на стан системи, є температура і тиск. Внутрішнім змінним фактором є концентрація.

При утворенні сплаву атоми компонентів вступають у певні взаємодії один з одним. У рідкому стані більшість металевих сплавів являють собою однорідні рідини, тобто рідкі розчини. У твердому стані можуть утворюватися тверді розчини, хімічні сполуки та механічні суміші.

**Твердими розчинами** називаються сплави, що складаються з однієї фази, змінного складу. При утворенні твердого розчину кристалічна ґратка одного з компонентів (розчинника) зберігається, і тільки змінюється період кристалічної ґратки. Отже, кристалічна ґратка твердих розчинів складається з атомів двох або більше компонентів. Структура твердого розчину, видима під мікроскопом, складається, як і у чистих металів, з однорідних зерен (рис. 1). Тверді розчини прийнято позначати  $A(B)$ , де  $A$  - розчинник;  $B$  - розчинений компонент або  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  залежно від температур утворення.

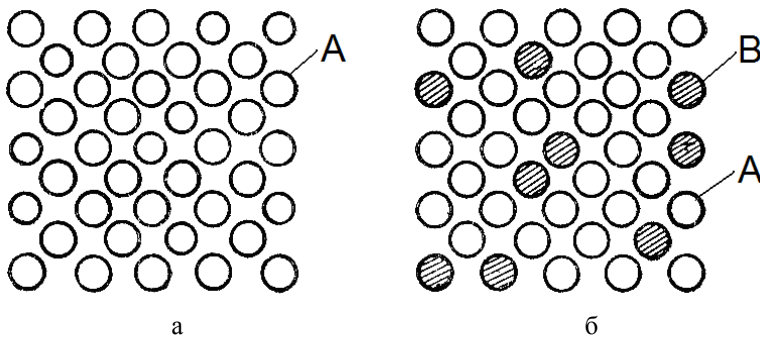


Рисунок 1 – Схеми розташування атомів у твердих розчинах:  
а - метал-розчинник (A); б - твердий розчин заміщення A (B)

Залежно від характеру розподілу атомів розчиненого компонента в кристалічній ґратці розчинника розрізняють такі три типи твердих розчинів: тверді розчини заміщення, тверді розчини проникнення, тверді розчини віднімання.

Кристалічна ґратка *хімічної сполуки* відрізняється від кристалічних ґраток компонентів, що її утворюють. У кристалічній ґратці хімічної сполуки атоми компонентів, як правило, займають певні місця. Створення нового типу кристалічної ґратки є основною ознакою, що відрізняє хімічну сполуку від твердого розчину. Хімічні сполуки можна описати хімічною формулою. Кристалізація (плавлення) хімічної сполуки відбувається не в інтервалі температур, що характерно для твердих розчинів, а при певному конкретному значенні, що характерно для хімічних елементів.

*Механічні суміші* можуть складатися з чистих компонентів, твердих розчинів, хімічних сполук і т. д. При утворенні механічної суміші кристалічні ґратки складових не змінюються. Кристаліти механічної суміші зв'язуються між собою тільки спільними межами. Розрізняють просту, евтектичну і евтектоїдну механічні суміші.

Проста механічна суміш утворюється при будь-якому відсотковому співвідношенні компонентів. Проста механічна суміш у металевих сплавах зустрічається рідко, прикладом її можуть бути сплави заліза зі свинцем, міді зі свинцем та інші.

Евтектична механічна суміш має строго певний хімічний склад, утворюється при певній сталій температурі з рідкого розчину певного хімічного складу.

Евтектоїдна механічна суміш також має строго певний хімічний склад, утворюється при певній сталій температурі, але тільки при розпаді твердого розчину певного хімічного складу.

Усі процеси, що відбуваються в сплавах залежно від температури і концентрації, знаходять відображення в діаграмі стану. *Діаграма стану* – це графічне зображення рівноважного стану сплавів залежно від температури і концентрації (починаючи з температур плавлення). Діаграма стану сплавів дозволяє простежити за процесами, що відбуваються в даному сплаві при нагріванні та охолодженні; визначити сплави, які мають чудові ливарні властивості, а також сплави, що змінюють фізико-механічні властивості шляхом термічної обробки або обробки тиском; правильно встановити режими термічної, хіміко-термічної обробки та обробки тиском; знаючи, яку структуру будуть мати сплави в рівноважному стані (повільно охолоджені), за мікροструктурою (у деяких випадках) розрахувати хімічний склад сплаву; правильно вибрати склад сплаву, який характеризується необхідними властивостями, і т.д.

Тип діаграм стану залежить від характеру взаємодії компонентів, що складають дану систему, тобто від того, яку будову в твердому стані мають компоненти один з одним. Компоненти, що вивчаються в



даній лабораторній роботі, сплаву свинець - сурма повністю розчинні один в одному в рідкому стані. Вони практично нерозчинні у твердому стані (при кімнатній температурі розчинність компонентів один в одному майже дорівнює нулю). Даний тип діаграми стану характеризується тим, що компоненти при кристалізації не утворюють хімічних сполук, а утворюють евтектичну (механічну) суміш.

Нагріваючи чистий метал - свинець або сурму до розплавлення, помітимо, що рівномірний підйом температури призупиниться саме тоді, коли метал почне плавитися, і внаслідок поглинання прихованої теплоти плавлення температура деякий час залишиться сталою, незважаючи на надходження тепла ззовні. Тільки після того, як весь метал розплавиться, підйом температури вже рідкого металу знову стане помітний при тривалому надходженні тепла ззовні. Таке ж явище, але в зворотному порядку, буде спостерігатися при зворотному процесі охолодження рідкого (розплавленого) металу: температура буде рівномірно знижуватися до початку затвердіння (кристалізації), де вона призупиниться внаслідок виділення теплоти затвердіння, і тільки після повного затвердіння стане помітне подальше зниження температури вже у твердому металі. Якщо записувати ці зміни температури металу в часі, ми отримаємо криві охолодження (або нагрівання), на яких будуть видні ці затримки в ході зміни температури металу. Вигляд цих кривих для чистого металу наведений на рисунку 2.

Горизонтальні ділянки на кривих свідчать про затримку в охолодженні (нагріванні) і відповідають температурам, при яких відбувається кристалізація (плавлення) металу. Це і буде критична точка, що відповідає перетворенню рідкої фази в тверду і навпаки, і цю критичну точку, яка свідчить про зміну фаз у чистих компонентах, ми позначимо перш за все на діаграмі стану, яку будемо.

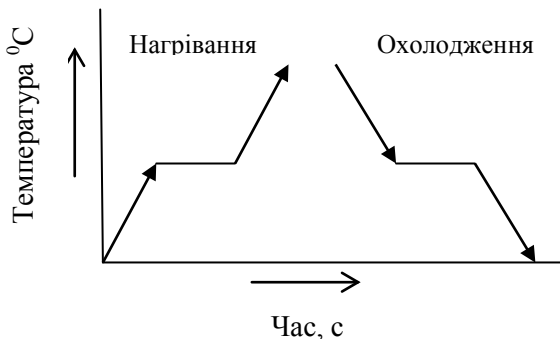


Рисунок 2 - Приклад кривих нагрівання та охолодження

Побудова діаграм стану складається з кількох етапів. Для цього візьмемо осі координат (рис. 3) і по абсцис відкладемо всі концентрації сплавів (за сурмою) у деякому масштабі. У цьому масштабі повинні поміститися всі сплави від 100% Pb (чистий свинець) до 100% Sb (чиста сурма).

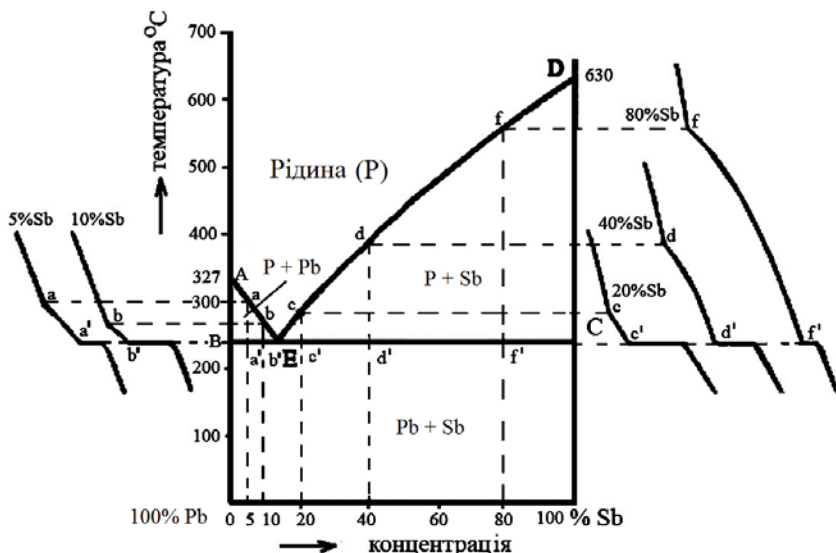


Рисунок 3 – Побудова діаграми стану Pb – Sb

По осі ординат будемо відкладати в масштабі температуру. Визначивши за кривими охолодження критичні точки - температури затвердіння чистих Pb і Sb, відкладаємо ці температури на ординаті, що відповідають концентрації 0% і 100% Sb. Це будуть перші основні точки нашої діаграми (для Pb - точка A - 327 °C; для Sb - точка B - 630 °C).

Звичайно, при побудові діаграм визначають критичні точки при охолодженні, оскільки охолодження здебільшого відбувається рівномірніше, ніж нагрівання, і зупинки на кривих виходять більш зрозуміло і правильно. Теоретично не повинно бути різниці в критичних точках при нагріванні та охолодженні, оскільки справжня критична точка відповідає оберненому перетворенню і повинна бути одна. Однак практично ми не маємо повної оберненості, і точки при охолодженні

завжди виходять трохи нижче точок при нагріванні. Це явище відоме під назвою "теплого гістерезису".

Істотна відмінність кривих охолодження сплавів від кривих охолодження чистих металів полягає в тому, що в сплавах при кристалізації помітні по дві критичні точки, тоді як у чистих металах вона одна. Визначивши температуру цих точок, відзначаємо їх на діаграмі.

Припустимо, що для таких сплавів, ці точки становлять (рис 4, а и б):

- 5% Sb - 296°C і 243°C (а і а');)
- 10% Sb - 260°C і 240°C (б і б');
- 2% Sb - 280°C і 242°C (с і с');
- 40% Sb - 395°C і 240°C (d і d');
- 80% Sb - 570° і 245 °C (f і f').

Щоб нанести ці точки на діаграму, потрібно відкласти визначені температури в масштабі на ординатах, що відповідають відповідним складам (концентрації) прийнятих сплавів (рис. 3).

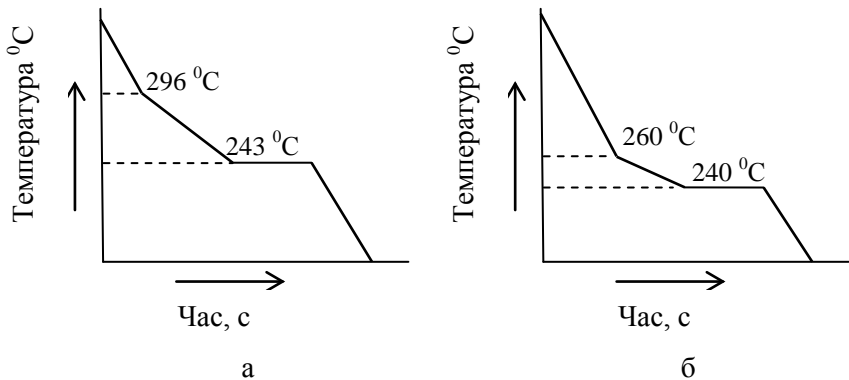


Рис. 4 – Приклад кривих охолодження для сплаву свинець-сурма при різній концентрації елементів: а- 5 % Sb; б- 10 % Sb

Тоді ми отримаємо ряд точок а і а', б і б', с і с', d і d', f і f', які є початковими точками А і В. Якщо ми всі їх з'єднаємо кривими, припускаючи, що проміжні сплави з іншими концентраціями дають аналогічні криві охолодження і проміжні критичні точки, отримаємо діаграму стану.

**Лінія ліквідус** (лінія АЕД, рис. 3) - геометричне місце точок (температур) початку процесу кристалізації сплавів. Вище лінії ліквідус сплави знаходяться в рідкому стані, що являє собою однорідний рідкий розчин або рідку фазу. **Лінія солідус** (лінія ВЕС, рис. 3) - геометри-

чне місце точок (температур) кінця процесу кристалізації сплавів. Нижче лінії солідус сплави перебувають у твердому стані. Лінія АЕ відповідає початку виділення з рідини при охолодженні кристалів Pb, лінія ED - кристалів Sb. У точці E і на лінії BEC з рідини концентрації E одночасно виділяються кристали Pb і Sb. Точка E називається точкою евтектики, лінія BEC - лінією евтектики або евтектичною лінією. Нижче евтектичної лінії знаходяться дві фази - кристали Pb і Sb. Лівише евтектичної точки E з рідини виділяються спочатку кристали Pb, а потім евтектика, правіше - кристали Sb, а потім евтектика.

У будь-якому сплаві системи свинець - сурма при кімнатній температурі в структурі спостерігаються дві тверді фази: кристали сурми і кристали свинцю. За складом сплави розділяються на доевтектичні, евтектичних і заевтектичні (рис. 5).

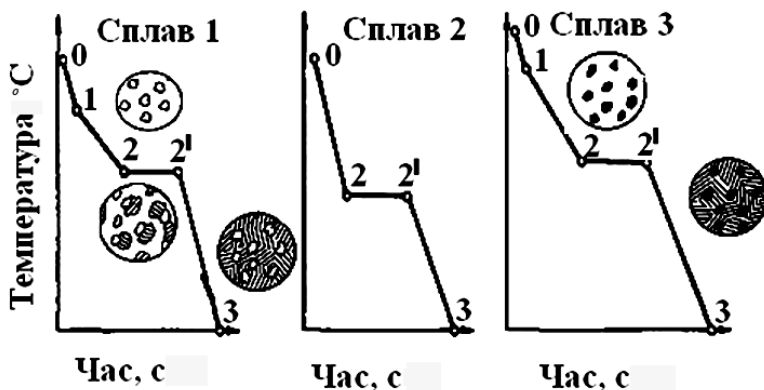


Рис. 5 – Криві охолодження сплавів: а – доевтектичного; б - евтектичного, в – заевтектичного

Сплав, що містить 13% Sb і 87% Pb, - евтектичний, являє собою дрібнодисперсну суміш двох фаз - свинцю і сурми. Структура доевтектичних сплавів, тобто сплавів, що містять менше 13% Sb, складається з евтектики і надлишкових кристалів свинцю темного кольору (рис. 6,б). Структура заевтектичних сплавів, тобто сплавів, які містять 13% Sb, складається з евтектики і надлишкових яскраво-білих кристалів сурми правильної форми (рис. 6,в). Чим далі знаходиться сплав від евтектичного складу, тим менше в ньому евтектики і більше надлишкових кристалів сурми або свинцю. За мікроструктурою можна приблизно визначити склад сплаву. Для цього під мікроскопом визна-

чають площину кожної структурної складової, тим самим визначаючи її об'ємний вміст.

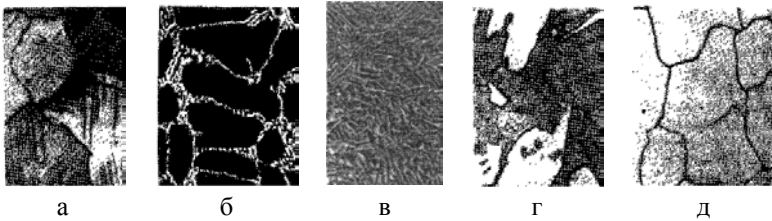


Рисунок 6 – Структура сплавів свинець-сурма: а - чистий свинець; б - доевтектичний сплав (5% Sb); в - евтектичний сплав (13% Sb); г - заевтектичний сплав (30% Sb); д - чиста сурма

Ваговий (масовий) вміст свинцю і сурми - для *доевтектичних сплавів*:

$$Q_{Pb} = \frac{(V_{Pb} + V_e \cdot 0,80) \cdot \gamma_{Pb}}{V_{Pb} \cdot \gamma_{Pb} + V_e \cdot \gamma_e} \cdot 100\%;$$

$$Q_{Sb} = 100 - Q_{Pb};$$

- для *заевтектичних сплавів*:

$$Q_{Sb} = \frac{V_{Sb} + V_e \cdot 0,20 \cdot \gamma_{Sb}}{V_{Sb} \cdot \gamma_{Sb} + V_e \cdot \gamma_e} \cdot 100\%;$$

$$Q_{Pb} = 100 - Q_{Sb};$$

де  $Q_{Pb}$  - кількість свинцю, % (за масою);

$Q_{Sb}$  - кількість сурми, % (за масою);

$V_{Pb}$  - вміст надлишкового свинцю, % (об'ємний);

$V_{Sb}$  - вміст надлишкової сурми, % (об'ємний);

$V_e$  - вміст евтектики, % (об'ємний);

$\gamma_{Pb}$  - щільність свинцю, 11,3 г/см<sup>3</sup>;

$\gamma_{Sb}$  - щільність сурми, 6,6 г/см<sup>3</sup>;

0,20 - вміст сурми в евтектиці, % (об'ємний);

0,80 - вміст свинцю в евтектиці, % (об'ємний).

Щільність евтектики, що складається з двох фаз, визначають зі співвідношення:

$$\gamma_e = \gamma_{Pb} \cdot A + \gamma_{Sb} \cdot B,$$

де  $A = 80$ ;  $B = 20$  для евтектики Pb і Sb.

Для побудови діаграми стану сплавів використовують простий і досить надійний метод термічного аналізу, за допомогою якого визна-

чають критичні точки - температури початку та кінця кристалізації. Внаслідок виділення або поглинання тепла в процесі фазових перетворень при нагріванні (або охолодженні) на відповідних кривих нагрівання (або охолодження) спостерігаються перегини або горизонтальні ділянки (рис. 3 - 5).

При перетвореннях у твердому стані тепловий ефект буває менш значним, ніж зміна таких властивостей, як об'єм, електропровідність, твердість, магнітні властивості та ін. Тому при визначенні критичних точок у твердому стані користуються відповідними методами дослідження цих властивостей. Визначення температур кристалізації (затвердіння) металів і сплавів, як правило, проводять за допомогою термоелектричного пірометра, що складається з термопари і високочутливого гальванометра (рис. 7).

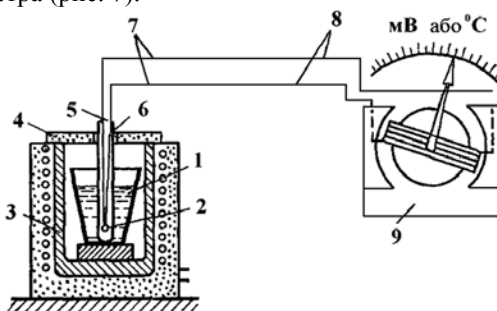


Рис. 7 - Схема пристрою для визначення критичних точок металів і сплавів термічним методом: 1 - тигель; 2 - гарячий спай; 3 - піч; 4 - кришка; 5 - термопара; 6 - захисний фарфоровий кожух; 7 - холодний спай; 8 - мідний дріт; 9 - гальванометр

Результати вимірювань оформляються графічно у вигляді кривих охолодження в координатах температура - час або термоелектрорушійна сила - час. В останньому випадку температура визначається тільки для критичних точок (точок перегину або зупинок) за градуйованими кривими. За отриманими критичними точками будують діаграму стану в координатах концентрація - температура.

### 3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Кожній бригаді студентів видаються мікрошліфи чистих металів свинцю і сурми і їхніх сплавів доевтектичного, евтектичного і заевтектичного складів. Дослідження структур необхідно провести в такому порядку:

- вивчити мікроструктуру шліфів під мікроскопом при збільшенні  $\times 200$ ;

- накреслити схеми мікроструктур;
- описати мікроструктури з наведенням їх хімічного і фазового складу. За мікроструктурою розрахувати хімічний склад.

#### **4. ЗМІСТ ЗВІТУ**

Мета роботи. Схема установки для дослідження металів і сплавів термічним методом. Опис діаграми сплавів свинець - сурма з характерними для них кривими охолодження з аналізом за правилом фаз, методики розрахунку хімічного складу сплаву за мікроструктурою і сутності методу термічного аналізу (виконується в порядку підготовки до лабораторної роботи). Крива охолодження і побудована діаграма стану сплавів свинець - сурма. Рисунок мікроструктур чистих сурми і свинцю, доєвтектичного, евтектичного і заєвтектичного сплавів з аналізом хімічного і фазового складу. Висновки (зазначити, в чому полягає відмінність і подібність структури чистих металів і сплавів, який зв'язок між структурою і складом сплаву).

#### **5. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ**

Кожен студент при роботі з електрообладнанням і хімічними реактивами зобов'язаний виконувати правила техніки безпеки, встановлені інструкціями кафедри.

Про проходження інструктажу з техніки безпеки слід розписатися у лабораторному журналі.

#### **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Які види взаємодії компонентів при утворенні сплавів?
2. Як змінюються властивості сплавів залежно від діаграми стану ?
3. Дати визначення понять «компонент», «фаза», «система», «структура», «діаграма стану».
4. Як визначити склад та кількісне співвідношення фаз у будь-якій точці двофазної області за правилом відрізків?
5. Як проводиться аналіз діаграми стану за правилом фаз?
6. У чому сутність термічного аналізу металів і сплавів?
7. Охарактеризувати критичну точку.
8. Що таке евтектика, її характерні особливості?
9. Які можуть бути види діаграми стану подвійних сплавів?
10. Як визначити склад сплаву за структурою?
11. Що таке хімічна сполука, її відмінність від твердого розчину і механічної суміші?

## 5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

### «ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ (СТАЛЕЙ І ЧАВУНІВ)»

#### 1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити діаграму стану системи «залізо - вуглець» Fe-C.
2. Вивчити структуру, властивості і застосування вуглецевих сталей і білих чавунів за метастабільною діаграмою «залізо - цементит» Fe-Fe<sub>3</sub>C та вплив вмісту вуглецю на структуру відпалених сталей і білих чавунів.
3. Вивчити фазові перетворення в графітних чавунах за стабільною діаграмою Fe-C.

#### 2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Відповідно до діаграми стану Fe-C в даних залізовуглецевих сплавах можливе отримання структур залізоцементиту (метастабільна діаграма Fe-Fe<sub>3</sub>C) (рис. 1) чи залізграфіту (стабільна діаграма Fe-C).

Діаграма стану «залізо - вуглець» (рис. 1) охоплює сплави, що містять вуглець від 0 до 100%. При вмісті вуглецю 6,67% утворюється хімічна сполука заліза з вуглецем - карбід заліза, що називається цементит (Ц) і позначається Fe<sub>3</sub>C. Кожну стійку хімічну сполуку можна розглядати як компонент, а діаграму – по частинах. Оскільки на практиці застосовуються металеві сплави з вмістом вуглецю до 6,67%, то розглядається лише частина діаграми стану - від заліза до цементиту. Частину діаграми стану до 6,67% C називають діаграмою стану «залізо - цементит».



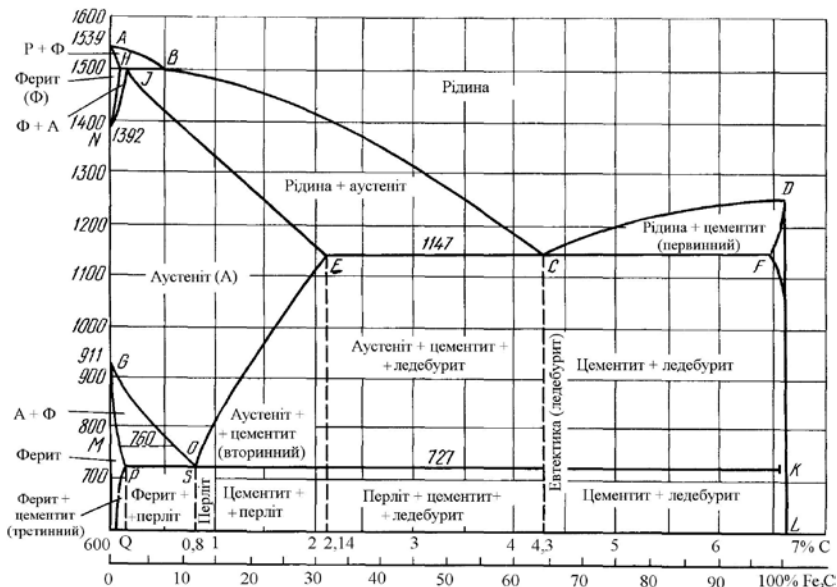


Рис. 1 – Діаграма стану системи «залізо-вуглець»

Усі сплави системи «залізо-вуглець» утворені двома компонентами: залізом і вуглецем.

1. **Залізо** - метал перехідної групи сріблясто-сірого кольору, дуже пластичний, з питомою вагою  $7,8 \text{ г/см}^3$ , з атомним радіусом  $1,27 \text{ \AA}$  і температурою плавлення  $1539^\circ\text{C}$ . На практиці застосовується технічне залізо, що містить 0,1% таких домішок, як С, Mn, Si, S, P,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  та ін. Залізо має кілька алотропічних модифікацій (рис. 2). **Алотропією, або поліморфізмом**, називається здатність деяких речовин при одному й тому самому хімічному складі змінювати тип кристалічної ґратки, а, отже, мати різні властивості.

При кімнатній температурі залізо має об'ємноцентровану (ОЦК) кубічну кристалічну ґратку К8 з періодом  $a = 2,86 \text{ \AA}$  і позначається  $\alpha\text{-Fe}$  ( $HB = 80 \text{ кгс/мм}^2$ ). Таке залізо має сильно виражені магнітні властивостями.

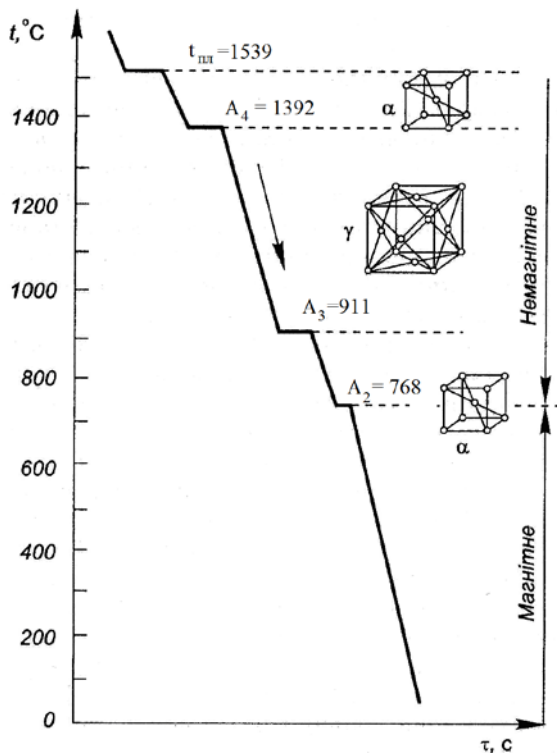
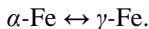


Рис.2 - Крива охолодження заліза

При температурі 768°C залізо втрачає магнітні властивості (точка Кюрі). Кристалічна ґратка при цьому не змінюється - алотропічного перетворення немає. Часто це немагнітне залізо позначають  $\beta$ -Fe. При температурі 911°C відбувається алотропічне перетворення заліза: кубічна об'ємноцентрована ґратка К8 переходить при цій температурі в кубічну гранецентровану ґратку К12 з періодом  $a$  3,63 Å (при 1100°C). Таке залізо позначають  $\gamma$ -Fe ( $HB = 200-220$  кгс/мм<sup>2</sup>). Властивості заліза змінюються: воно набуває особливої пластичності, високої в'язкості, збільшується здатність розчиняти вуглець, але залишається немагнітним. При температурі 1392°C відбувається друге алотропічне перетворення заліза. Гранецентрована кубічна (ГЦК) ґратка  $\gamma$  - заліза знову переходить в ОЦК  $\alpha$ -заліза з періодом  $a = 2,93$  Å (при 1392°C). Цю модифікацію заліза іноді називають  $\delta$ -залізом і позначають  $\delta$ -Fe (воно немагнітне). При температурі 1539°C залізо плавиться.

Температуру алотропічного (поліморфного) і магнітного перетворення заліза прийнято називати **критичними точками** і позначати їх

літерою  $A$  з відповідними індексами 1, 2, 3, 4, що свідчать про характер перетворення. Щоб відрізнити перетворення, які відбуваються в сплавах при нагріванні, від перетворень при охолодженні, прийнято до позначення критичних точок додавати: при нагріванні індекс  $c$  ( $A_c$ ), при охолодженні індекс  $r$  ( $A_r$ ). Позначення критичних точок заліза наведено на рисунку 2. Точка  $A_2$  (768°C) показує температуру магнітного перетворення заліза; точка  $A_3$  позначає температуру низькотемпературного алотропічного перетворення:



2. **Вуглець** - неметалевий елемент з питомою вагою 2,5 г/см<sup>3</sup>, атомним радіусом 0,77 Å, температурою плавлення 3500°C. Вуглець має три алотропічні модифікації: алмаз, графіт і вугілля. У формі алмаза і вугілля в металевих сплавах вуглець не наявний. У формі графіту в промислових сплавах вуглець зустрічається тільки в сірих чавунах. Кристалічна ґратка графіту - гексагональна, не щільноупакована з координаційним числом 6 - ґратка Г6. Графіт не міцний, не пластичний. Найчастіше у залізовуглецевих сплавах вуглець зустрічається у вигляді твердих розчинів проникнення в залізі ( $\alpha$ -Fe і  $\gamma$ -Fe), а також у вигляді хімічної сполуки Fe<sub>3</sub>C - цементиту.

У системі залізо-вуглець існують чотири фази: рідина, ферит, аустеніт і цементит.

1. **Рідина**. В рідкому стані залізо добре розчиняє вуглець у будь-яких пропорціях з формуванням однорідної рідкої фази.

2. **Ферит** ( $\Phi$ ) - твердий розчин проникнення вуглецю в  $\alpha$ -залізо. Ферит має ОЦК- ґратку (К8). Структура фериту складається з однієї фази змінного складу, тобто твердого розчину. Максимальна розчинність вуглецю в  $\alpha$  - залізі дорівнює 0,025% при температурі 727°C; мінімальна розчинність (при кімнатній температурі) дорівнює 0,006%.

3. **Аустеніт** ( $A$ ) - твердий розчин проникнення вуглецю в  $\gamma$ -залізо. Аустеніт має ГЦК-ґратку (К12). Структура аустеніту - твердий розчин змінного складу. Максимальна розчинність вуглецю в  $\gamma$ -залізі дорівнює 2,14% при температурі 1147°C; мінімальна розчинність дорівнює 0,8% при температурі 727°C.

З наведених даних випливає, що розчинність вуглецю в  $\gamma$ -залізі значно більша, ніж в  $\alpha$ -залізі (при температурі 727°C  $\approx$  32 рази). Це пояснюється тим, що в центрі елементарної комірки К12 є «дірка» (порожнеча) великих розмірів, в яку вільно може проникнути атом вуглецю. У елементарній комірці К8 є дірки всередині кожного ребра куба, їх багато, тому щільність цієї ґратки менша, ніж ґратки К12, проте розмір дірок значно менший за розмір атомів вуглецю.

4. **Цементит (Ц)** - карбід заліза, хімічна сполука заліза з вуглецем, що містить 6,67% вуглецю. Він має складну кристалічну ґратку, високу твердість ( $HB = 800 \text{ кгс/мм}^2$ ) і крихкість, що говорить про високу температуру плавлення ( $\sim 1600^\circ\text{C}$ ). Відрізняється від заліза і графіту металевим блиском, тепло- та електропровідністю, слабкими магнітними властивостями.

Розрізняють:

а) первинний цементит Ц<sub>I</sub>. Він виділяється при кристалізації з рідкої фази в усіх залізовуглецевих сплавах, що містять вуглецю більше 4,3 % (нижче лінії DC, рис. 1);

б) вторинний цементит Ц<sub>II</sub> виділяється при вторинній кристалізації з аустеніту по лінії ES, у всіх залізовуглецевих сплавах, що містять вуглецю більше 0,8% в інтервалі температур від 1147 до 727°C;

в) третинний цементит Ц<sub>III</sub> виділяється при третинній кристалізації з фериту в усіх залізовуглецевих сплавах, що містять вуглецю більше 0,006% в інтервалі температур від 727 до 0°C.

Якщо у залізовуглецевих сплавах знаходяться одночасно кілька різновидів цементиту (наприклад, у сплавах, що містять вуглецю більше 4,3%, при нормальній температурі наявні Ц<sub>I</sub>, Ц<sub>II</sub>, Ц<sub>III</sub>, а також цементиту, що входить до складу ледебуриту і перліту) - всі вони є однією фазою, тобто хімічною сполукою, оскільки мають один і той самий хімічний склад, будову та властивості.

В системі залізо-вуглець формуються наступні структурні складові.

**Ледебурит (Л)**- евтектична механічна суміш, утворюється з рідкої фази певного постійного складу 4,3% С при температурі 1147°C. При температурі 1147 і до 727°C ледебурит складається з двох фаз - аустеніту і цементиту.

**Перліт (П)** - евтектоїдна механічна суміш, утворюється при розпаді аустеніту певного постійного складу 0,8% С при температурі 727°C. Евтектоїд цей названий перлітом, тому що після травлення сталі, що містить 0,8% С, її по-верхня має своєрідний блиск. Перліт складається з двох фаз: фериту і цементиту.

Діаграма стану системи «залізо - цементит» - основа для вивчення вуглецевих сталей і білих чавунів, поділом яких є точка Е на діаграмі (2,14% С). Залізовуглецеві сплави, що містять до 2,14 % вуглецю, називаються **сталями**, а більше 2,14 % - **чавунами**. Дана діаграма дозволяє оцінити, в якому стані знаходиться кожен із сплавів системи «залізо - цементит» у широкому інтервалі температур від 20 до 1600°C, а також розглянути процеси плавлення та кристалізації.

## 2.1. Структура вуглецевих сталей

Вуглецеві сплави – це сплави заліза з вуглецем, вміст С в них від 0,02 до 2,14%, а також міститься деяка кількість домішок марганцю, кремнію, сірки та фосфору. Сплави, що містять вуглецю менше 0,025%, - однофазні і мають структуру фериту з невеликою кількістю цементиту, розташованого по межах зерен фериту (рис. 3,а). Такий сплав називають *технічним залізом*.

Відповідно до діаграми стану залізо - цементит вуглецеві сталі поділяють на доевтектоїдні (вміст вуглецю від 0,025 до 0,8%); евтектоїдні (вміст вуглецю 0,8%) і заевтектоїдні (вміст вуглецю від 0,8 до 2,14%). Мікроструктура *доевтектоїдної сталі* складається з фериту і перліту, співвідношення між ними визначається вмістом вуглецю: при його збільшенні кількість перліту збільшується, а кількість фериту зменшується (рис. 3,б).

Структура *евтектоїдної сталі* - перліт - механічна суміш фериту і цементиту. Перліт утворюється по лінії PSK (727°C) з аустеніту і містить 0,8%С. Будова перліту в більшості випадків пластинчаста, причому пластини темні, видимі в перліті - тіні виходять від виступаючих після травлення ділянок (пластинок) цементиту (рис. 3,в). Але шляхом спеціального відпалу можна отримати і перліт зернистий.

Мікроструктура *заевтектоїдної сталі* - перліт і вторинний цементит, який виділяється з аустеніту внаслідок зменшення (зі зниженням температури нижче лінії SE) розчинності вуглецю в  $\gamma$ -Fe, утворюючи переважно по межах зерен перліту так звану цементитну сітку (рис. 3,г).

Вторинний цементит може виділятися у вигляді зерен після відповідної термічної обробки, так званий зернистий цементит.

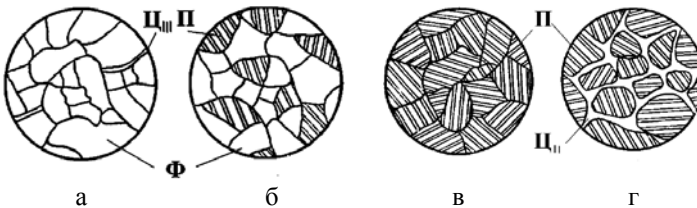


Рис. 3 – Схеми мікроструктур вуглецевих сталей: а – тех-нічно чисте залізо; б – доевтектоїдна сталь; в – евтектоїдна сталь; г – заевтектоїдна сталь

З підвищенням вмісту вуглецю підвищуються міцність і твердість, а пластичність знижується. Таким чином, ос-новним визначальним

чинником структури і властивостей вуглецевих сталей є вміст вуглецю.

## 2.2. Структура чавунів

**Чавуни** - складні сплави на основі заліза, головна домішка в яких вуглець у кількості більше 2,14%. У промислових чавунах, крім заліза і вуглецю, є домішки кремнію, сірки, фосфору та інших елементів, які впливають на їх структуру і властивості. Головною перевагою чавунів порівняно зі сталлю є хороші ливарні властивості. Чавуни, в яких весь вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді цементиту, називаються **білими чавунами**. Структура білих чавунів описується діаграмою стану залізо - цементит при вмісті вуглецю більше 2,4%. Чавуни, в яких весь або частина вуглецю знаходиться у вигляді графіту називаються **графітними**, їх структура не зв'язується з діаграмою залізо-цементит.

Характерною особливістю структури білих чавунів є наявність ледебуриту - евтектичної суміші, що складається з аустеніту і цементиту в інтервалі між лініями ECF (1147°C) і PSK (727°C) і з перліту і цементиту нижче лінії PSK. Ледебурит утворюється з рідини при температурі 1147°C по лінії ECF і містить 4,3% C. При температурі 727°C по лінії PSK аустеніт ледебуриту перетворюється на перліт. На рис. 4,а наведена схема мікроструктури ледебуриту. На світлій основі цементиту розташовуються темні вклучення перліту. Ледебурит характеризується високою твердістю ( $HB \approx 700$  кгс/мм<sup>2</sup>) і значною крихкістю. По відношенню до евтектичної точки C на діаграмі білі чавуни поділяють на доевтектичні – з вмістом вуглецю від 2,14 до 4,3%, евтектичні – з 4,3% C і заевтектичні - від 4,3 до 6,67 % C.

Структура **доевтектичних чавунів** складається з перліту і ледебуриту. Структура **евтектичного білого чавуну** - ледебурит. Структура **заевтектичного білого чавуну** - ледебурит і цементит первинний у вигляді великих пластин, що утворилися при кристалізації з рідини (рис. 4,д, є). Білий чавун характеризується високою твердістю та крихкістю, як конструкційний матеріал у промисловості не застосовується.

Вирішальний вплив на форму вуглецю надає швидкість охолодження при кристалізації та хімічний склад. Охолодження з малою швидкістю (до 10 град/хв) забезпечує виділення вуглецю у вигляді графіту, а з великою швидкістю - у вигляді цементиту. Однак отримання залізографітної структури в об'ємі реальної виливки важке, оскільки не завжди вдається охолодити різні перерізи виливки з однаковими або близькими швидкостями. Тому на практиці ступінь графітизації чавуну значною мірою регулюється шляхом зміни його хіміч-

ного складу. Так, додавання кремнію стимулює графітизацію, а додавання марганцю, навпаки, ускладнює її.

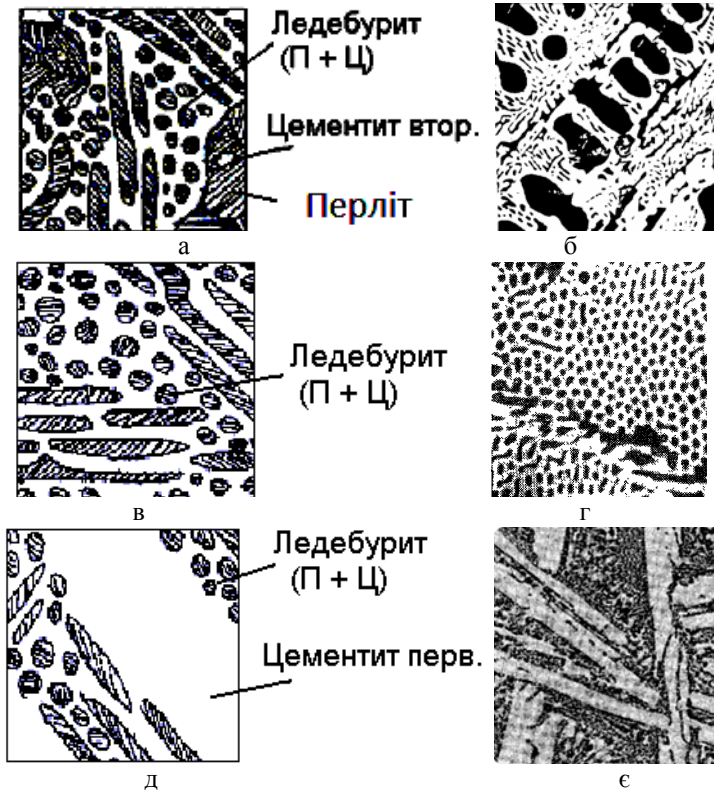


Рисунок 4 – Мікроструктура білих чавунів: а, б - доєвтектичний; в, г - евтектичний; д, е – заєвтектичний (а, в, д- схема, б, г, е -фото)

Як зазначалося раніше, регулюючи кількісне співвідношення вуглецю, кремнію і марганцю, при кристалізації можна отримати залізграфітні структури, в яких вуглець перебуває у вільному стані у вигляді графіту - *графітні чавуни*. За формою графітних включень чавуни поділяються на сірі (пластинчаста форма графіту), ковкі (пластівчаста форма графіту) і високоміцні (глобулярна форма графіту) (рис. 5).

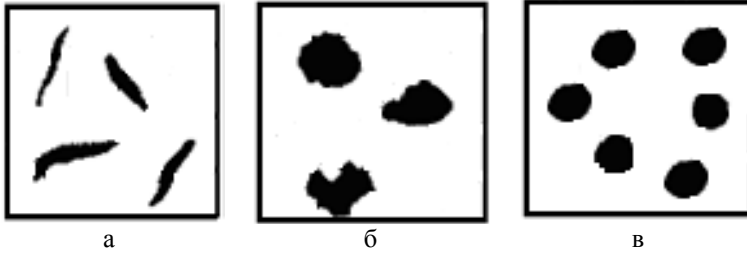


Рис. 5 – Форма графітних включень в чавунах: а - пластинчаста; б - пластівчаста; в – глобулярна (кулеподібна)

Для оцінки графітних включень слід використовувати шкали, встановлені ГОСТ 3443-87. Графіт дрібний і крихкий, тому чим більший його вміст у чавуні, тим більш крихким є чавун. Механічні властивості графітних чавунів суттєво залежать від форми і розподілу графітних включень (рис. 6). Згідно з формою графіту проводиться і маркування чавунів.

### 3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1. Ознайомитися з методичними вказівками.

3.2. Вивчити і замалювати мікроструктури сталей і чавунів. Вказати структурні складові, марки, хімічний склад, властивості, галузі застосування. Для виконання роботи студентам надається колекція мікрошліфів чи атлас.

### 4. ЗМІСТ ЗВІТУ

Мета роботи. Діаграма стану залізо-цементит, ескізи мікроструктур вивчених сталей і чавунів, з зазначеними структурними складовими.

Металева основа	Форма графіту		
	пластинчаста	пластівчаста	глобулярна
Ферит (С <0,006 %)			



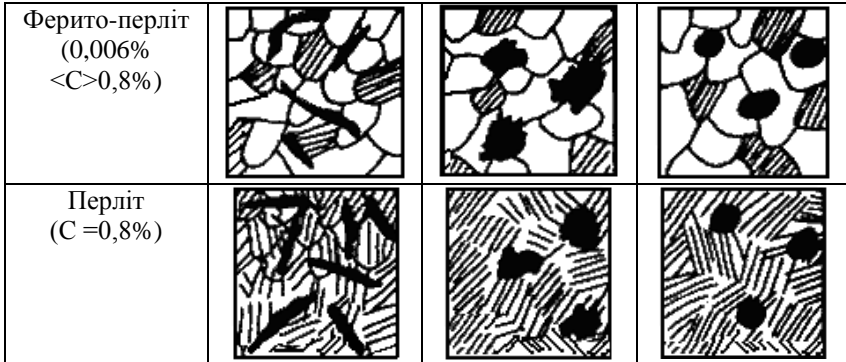


Рис. 6 – Схема мікроструктур графітних чавунів з урахуванням металевої основи

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які фази є на діаграмі стану системи залізо-цементит? Дайте їх характеристику.
2. Які сплави називаються вуглецевими сталями?
3. Технічне залізо армко-залізо, структура, властивості?
4. Що називається перлітом?
5. Які сталі називаються доєвтектоїдними, евтектоїдними, заєвтектоїдними? Яка їх структура?
6. Як впливає вміст вуглецю на властивості сталей?
7. Класифікацію вуглецевої сталі за призначенням. Маркування сталей.
9. Який сплав називають чавуном?
10. Який сплав називають білим чавуном? Яка його структура, властивості та застосування?
11. Що називається ледебуритом?
12. Які сплави називаються сірими ливарними чавунами? Які їх структура, властивості, застосування, маркування?
13. Які сплави називаються ковкими чавунами? Як їх отримують? Яка їх структура, властивості, маркування?
14. Які сплави називаються високоміцними чавунами? Як їх отримують? Яка їх структура, властивості, застосування, маркування.

## 6.ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

### «ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ»

#### 1. МЕТА РОБОТИ

1. Навчити студентів самостійно проводити термічну обробку сталі, обирати режим нагрівання залежно від вмісту вуглецю.

2. Навчити визначати мікроструктуру вуглецевих сталей у стані поставки, після відпалювання, гартування і відпуску.

#### 2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Муфельні печі з автоматичним регулюванням температури для проведення відпалювання, нормалізації, гартування, відпуску (низького, середнього, високого).

2. Металографічні мікроскопи.

3. Твердоміри: ТШ і ТК.

4. Гартувальні ванни (рідина – вода, масло).

5. Лещата, штангенциркуль, шліфувальний папір.

6. Зразки сталей для термообробки діаметром 20-25 мм, довжиною 20-30 мм: сталь 30, 45, У8, У12, по три зразки кожної сталі на групу.

7. Мікрошліфи зразків сталей діаметром 20-25 мм, довжиною 20-30 мм: сталь 30, 45, У8, У12 у стані поставки, після відпалювання, гартування і відпуску: низького (160 - 180° С), середнього (360 - 380°С) і високого (550 - 600°С).

#### 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Властивості металів і сплавів визначаються їх внутрішньою будовою – структурою. Одним із ефектних методів, що дозволяють значною мірою змінювати структуру металів і сплавів, є термічна обробка.

Можливість застосування термообробки та її ефективність визначаються характером перетворень, що відбуваються в металі у твердому стані; а перетворення, у свою чергу, а отже, і властивості проявляються залежно від хімічного складу сталей, температури нагрівання, часу витримки і швидкості охолодження.

Залежно від мети термічної обробки вона поділяється на **попередню** (отримання рівноважної однорідної структури з метою отримання максимальної оброблюваності різанням і підготовки структури до остаточної обробки) і **остаточну** (формування структури, що забезпечує надійність роботи виробу в конкретних умовах її експлуатації).

Розрізняють такі основні види термічної обробки: відпал, гартування, відпуск і нормалізацію (рис. 1-2). Під час гартування сталей фіксується метастабільний, нестійкий стан, при цьому, як правило, збільшуються твердість, міцність, зносостійкість, але знижуються пластичність, ударна в'язкість. Відпал і відпуск, на противагу гартуванню, дозволяють досягти іншої мети – стабілізації структури металу, тобто її рівноважного стану, внаслідок чого метал стає більш пластичним, зменшується його твердість.

**Відпал** – це вид термічної обробки, що полягає в нагріванні металу вище (на 30-50°C) або нижче лінії температури фазових перетворень, витримки і подальшого повільного охолодження, приблизно зі швидкістю 50-200°C за годину (практично це охолодження разом із піччю).

Відпал поділяють на відпал I роду і відпал II роду.

**Відпал I роду** не має на меті проходження фазових перетворень, дозволяє усунути нерівноважний стан, викликаний попередньою обробкою. Розрізняють такі різновиди відпалу I роду.

**Дифузійний відпал** усуває хімічну неоднорідність (ліквацію) в литих сплавах. При нагріванні сталі на 150-200°C вище  $A_{C3}$  ( $A_{Cm}$ ) відбувається прискорення дифузійних процесів, які забезпечують вирівнювання хімічного складу в мікроб'ємах сплаву, і він стає однорідним.

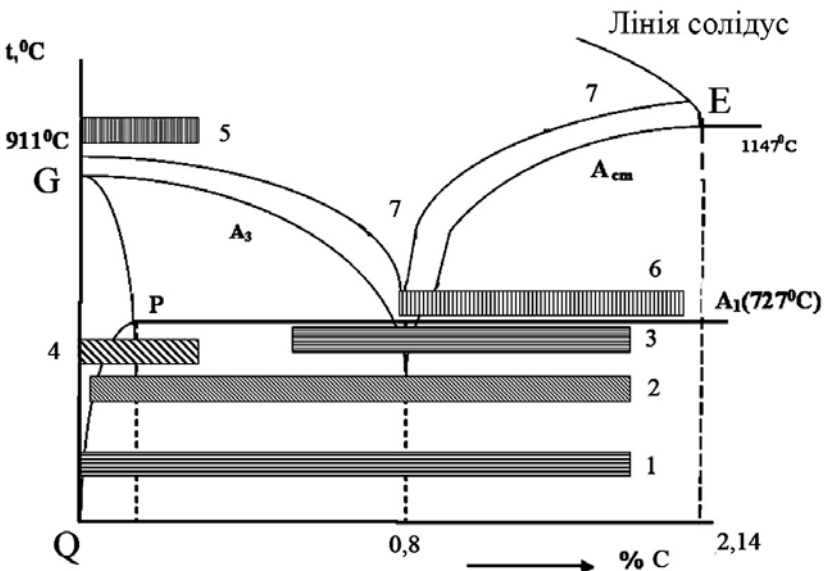









Рисунок 1 – Схема інтервалу температур термообробки (відпал і нормалізація) вуглецевих сталей. Умовними позначеннями відмічені:

- 1 -  Низький відпал.
- 2 -  Відпал для зняття внутрішніх напружень.
- 3 -  Відпал ізотермічний.
- 4 -  Відпал рекристалізаційний.
- 5 -  Дифузійний відпал.
- 6 -  Неповний відпал.
- 7 -  Повний відпал, нормалізація.

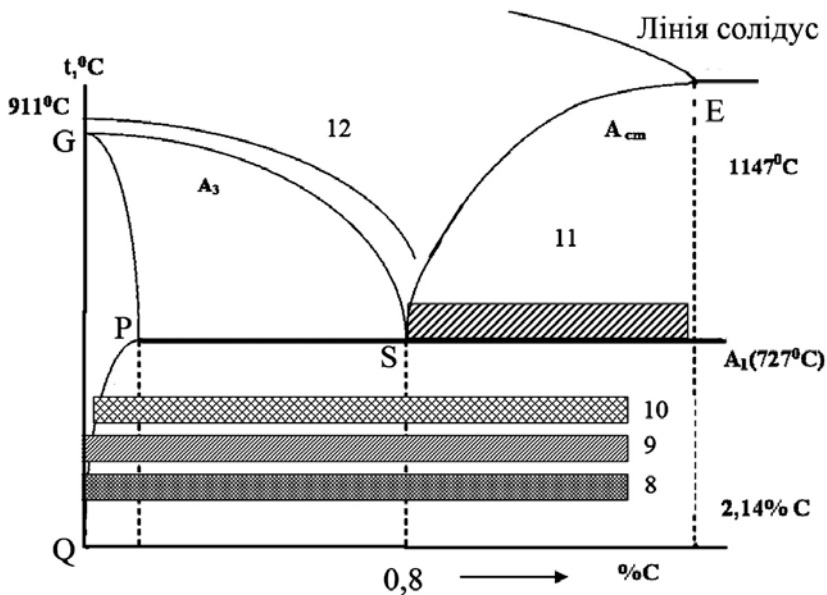







Рисунок 2 – Схема інтервалу температур термообробки (гартування та відпуску) вуглецевих сталей. Умовними позначеннями відмічені:

- |      |   |                                    |
|------|---|------------------------------------|
| 8 -  |    | Низький відпуск (150-250 °C).      |
| 9 -  |    | Середній відпуск (300-450 °C).     |
| 10 - |  | Високий відпуск (500 - 650 °C).    |
| 11 - |  | Неповне гартування.                |
| 12 - |  | Повне гартування, неповний відпал. |

**Рекристалізаційний відпал** усуває наклеп – зміцнення, викликане будь-якою пластичною деформацією. Температура відпалу визначається за формулою

$$T_{рек} = a \cdot T_{пл},$$

де коефіцієнт  $a$  залежить від хімічного складу сталі, змінюється від 0,1-0,8.

Рекристалізаційний відпал застосовують для відновлення пластичності при глибокій витяжці чи штампуванні сталевих виробів.

**Низькотемпературний відпал** (відпал для зняття внутрішніх напружень) застосовують для запобігання жолобленню виробів, зменшення остаточних напружень, що виникають у виробках унаслідок обробки тиском, різання, в зварених конструкціях, відливках. Під час відпалу відбуваються переміщення атомів у кристалічних ґратках у більш стійке положення, внаслідок чого діючі раніше в окремих зонах виробу пружні і стискальні напруження взаємно знищуються, тобто залишкові напруження у сталі зникають.

**Відпал II роду** завжди має на меті повне чи часткове фазове перетворення і поділяється на повний і неповний (рис. 1).

**Повний відпал** застосовують для доєвтектоїдних сталей для усунення крупнозернистої структури, зниження твердості, отримання максимальної пластичності. Мікроструктура сталі після такого відпалу – ферит-перліт, при цьому перліт має пластинчасту структуру.

Різновидом повного відпалу є **нормалізація** – це нагрівання сталі на 30-50°C вище критичної точки  $A_{C3}$  для доєвтектоїдних сталей або  $A_{Cm}$  для заєвтектоїдних із наступним охолодженням на повітрі. Після охолодження на по-вітрі сталь набуває дрібнозернистої структури, зменшуються внутрішні напруження у виробках, усувається багато недоліків, що виникли при попередній обробці.

Нормалізація застосовується для сталей із вмістом вуглецю до 0,3% (замість відпалу) і заєвтектоїдних сталей – для усунення сітки цементиту ( $C_{II}$ ). Структура низьковуглецевої сталі після нормалізації – ферит ( $\Phi$ ) – перліт ( $\Pi$ ), а у середньо- та високовуглецевих сталях – сорбіт.

**Ізотермічний відпал** застосовують для легованих сталей з метою створення однорідної структури, зменшення чутливості до утворення тріщин, покращання оброблюваності різанням.

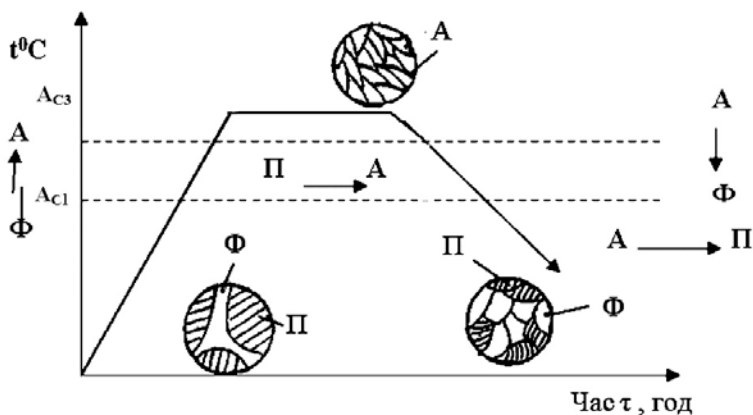


Рисунок 3 – Графік і схеми структур при повному відпалі доєвтектоїдної сталі, що має сітку фериту

**Неповний відпал** застосовують для заєвтектоїдних сталей. Сталь нагрівають вище нижньої критичної точки на 30-50°C (т.  $A_{c1}$ , лінія PSK). Охолодження повільне зі швидкістю 50-200 °C за годину (як правило, разом з піччю). Після охолодження аустенит (А) перетворюється на пластинчастий перліт, а ферит доєвтектоїдної і цементит заєвтектоїдної сталі залишається незмінним. Такий відпал не забезпечує повної перекристалізації та набуття однорідної структури сталі; його проводять, коли потрібно тільки зниження твердості сталі та зняття внутрішніх напружень.

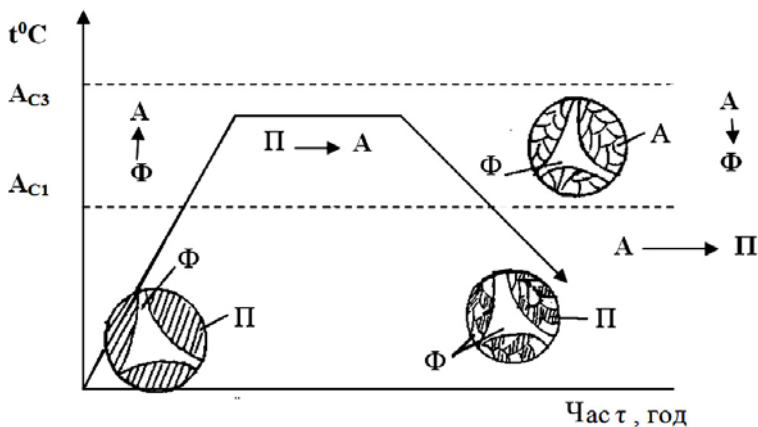


Рисунок 4 - Графік і схеми структур при неповному відпалі доєвтектоїдної сталі, що має сітку фериту

Для полегшення оброблюваності на металорізальних верстатах заєвтектоїдні сталі необхідно піддавати *сферодизуючому відпалу* за таким режимом:

- нагрівання:  $A_{C1} + 30 - 50$  °С, з витримкою при цій температурі;
- потім повільне охолодження до  $600 - 620$  °С, витримка 1–3 години, що забезпечує розпад аустеніту і коагуляцію цементиту у вигляді зерен (глобулів);
- далі повільне охолодження.

Такий відпал називають також *відпалом на зернистий перліт*.

Як уже було зазначено, усі види відпалу приводять до отримання рівноважного стану, підвищення пластичних характеристик. Характеристика основних видів відпалу наведена в таблиці 1.

**Гартування** – це вид термічної обробки, що полягає в нагріванні сталі вище критичних точок (на  $30-50$ °С), з подальшим швидким ( $300-1000$ °С/с) охолодженням ( $V_{охол} > V_{кр}$ ). Гартування завжди призводить метал у нестійкий стан; до підвищення твердості і зменшення пластичності та ударної в'язкості. Основна структура загартованої сталі – *мартенсит* (рис. 5) - пересичений упорядкований твердий розчин впровадження вуглецю в ґратці  $\alpha$  – заліза.

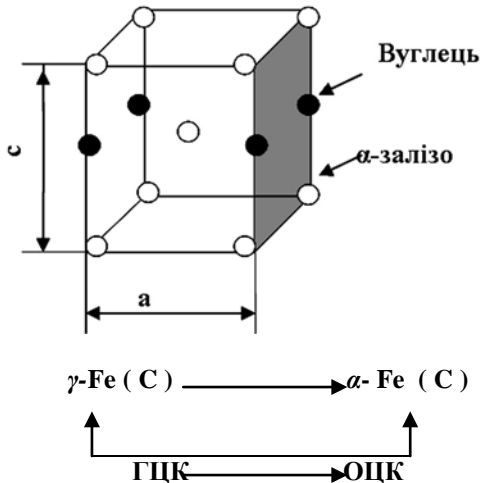


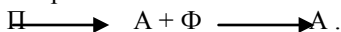


Рисунок 5 – Кристалічна гратка мартенситу

Чим вищий вміст атомів вуглецю в кристалічній гратці мартенситу, тим більше викривлення гратки ( $c/a > 1$ ) і вища його твердість.

Гартування поділяється на повне і неповне.

**Повне гартування** застосовується для евтектоїдних і доевтектоїдних сталей (рис. 6-7). Температури гартування призначають вище температур лінії GS на 30-50 °С, унаслідок чого при нагріванні відбувається повне фазове перетворення:



Таблиця 1 - Загальна характеристика основних видів відпалу

Вид термічної обробки	Температура нагрівання, °С, час витримки	Умови охолодження	Призначення
1	2	3	4
<i>Відпал I роду</i>			
Відпал гомогенізаційний	На 150–300 °С вище точки Ас <sub>3</sub> , частіше 1100–1150°С 8–15 годин	Повільне (з піччю)	Для великих фасонних відливів і зливків з легованої сталі для отримання однорідної (гомогенної) структури шляхом усунення (полаблення) дендритної ліквіації. Для зменшення можливості утворення флокенів, карбідної ліквіації та інших дефектів після обробки тиском і покращання механічних властивостей фасонних відливків
<b>Продовження таблиці 1</b>			
Відпал рекристалізаційний	Вище температури початку рекристалізації, частіше 660–710°С, 3–6 годин	Повільне до 550 °С (під ковпаком або муфелем)	Після холодної обробки тиском (калібрування, прокатування, штампкування, волочіння) як міжопераційна обробка для зменшення твердості і збільшення пластичності
Відпал для зняття внутрішніх напружень	200–700 °С	Повільне	Для зняття залишкових напружень після лиття, зварювання, пластичної деформації або механічної обробки

Відпал II роду			
Відпал повний	На 30-50 °С вище лінії $A_{C3}$	Повільне, до 500-550°С, щоб забезпечити розпад аустеніту при невеликому переохолодженні. Швидкість охолодження залежно від складу сталі, розмірів деталей становить від 15 до 150°С за год.	Для доєвтектоїдних сталей з метою зниження твердості, поліпшення оброблюваності, зняття внутрішніх напружень, усунення або зменшення структурної неоднорідності, подрібнення зерна, підготовки сталі до подальшої термічної обробки
Продовження таблиці 1	На 30-500 вище лінії $A_{C3}$ (для доєвтектоїдної сталі або $A_{C1}$ (для заєвтектоїдної сталі)	Прискорене до температури найменшої стійкості аустеніту в перлітній області (650-680 °С), витримка при цій температурі для повного розпаду аустеніту і подальше прискорене охолодження	Для прискорення відпалу прокату або поковок із легованої сталі
Відпал ізотермічний неповний	В інтервалі температури $A_{C1}$ і $A_{C3}$ ( $A_{Cm}$ )	Повільне, до 500-650°С	Для заєвтектоїдних сталей з метою зниження твердості, поліпшення оброблюваності, зняття внутрішніх напружень, усунення або зменшення структурної неоднорідності, подрібнення зерна, підготовки сталі до подальшої термічної обробки

<b>Продовження таблиці 1</b>				
Відпал для сфероїдизації цементиту	Децю вище температури $A_{C1}$	а) 30-40 °С 1 год до 600°С і далі на повітрі; б) 20-30 °С 1 год до 680°С, витримка для вирівнювання температури і далі зниження температури до 600°С з тією самою швидкістю. Подальше охолодження – на повітрі	Для інструментальних сталей для зниження твердості, покращання оброблюваності різанням, підготовки структури до остаточної термічної обробки і усунення залишкових напружень, а також для низьковуглецевих сталей (листи, прутки) перед холодним штампуванням або волочінням для підвищення пластичності	
<b>Нормалізація</b>				
Нормалізація (відпал нормалізаційний)	На 50-60°С вище лінії $A_{C3}$ (для доєвтектоїдної сталі або $A_{Cm}$ (для заєвтектоїдної сталі)	На вільному повітрі	Для отримання дрібного зерна, рівномірного розподілу структурних складових, покращання оброблюваності низьковуглецевої сталі різанням, усунення карбідної сітки перед сфероїдицією, покращання механічних властивостей, зниження порогу холодоламкості	

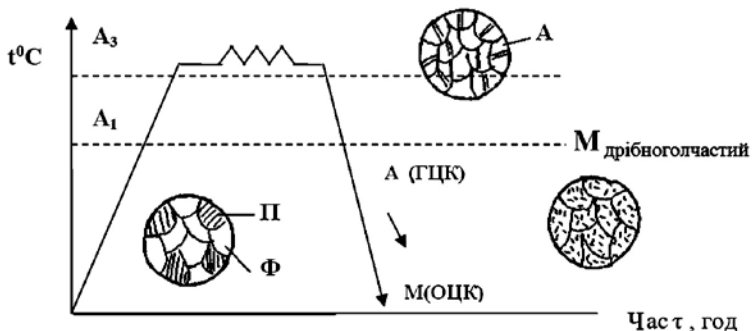


Рисунок 6 – Графік повного гартування доєвтектоїдної сталі

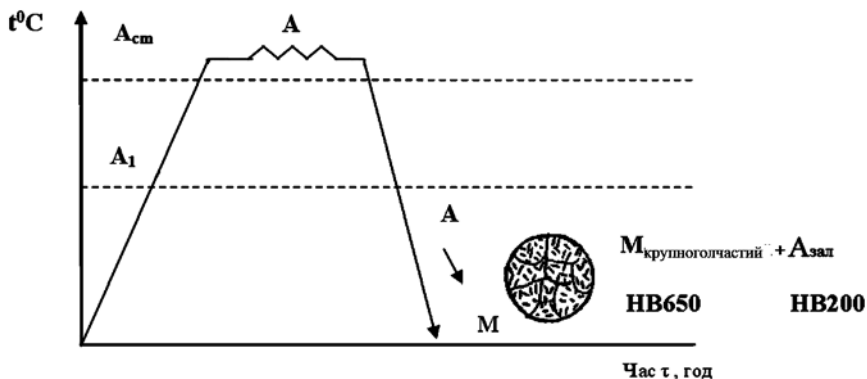


Рисунок 7 – Графік повного гартування заєвтектоїдної сталі

Повне гартування заєвтектоїдних сталей сприяє формуванню крупногочастого мартенситу, що має високу крихкість, а також залишкового аустеніту ( $A_{зал}$ ), що має низьку твердість. Така різномірність структури і властивостей не сприяє високій конструкційній міцності сталі, тому на практиці такий режим гартування не застосовують.

**Неповне гартування** (рис. 8-9) застосовується для заєвтектоїдних сталей. Температура гартування призначається вище температури  $727^{\circ}\text{C}$  (лінія PSK) на  $30-50^{\circ}\text{C}$ , при цьому не відбувається повного фазового перетворення  $(\text{П}+\text{Ц}) \rightarrow (\text{А}+\text{Ц})$ , тобто в цементиті не відбувається фазових перетворень.

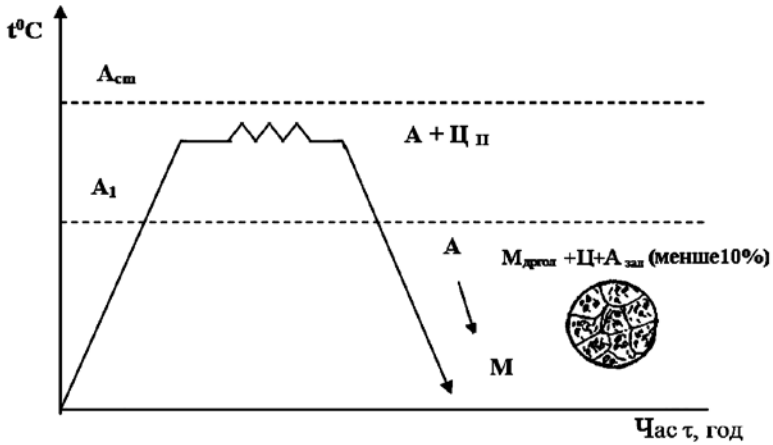


Рис. 8 - Графік неповного гартування заевтектоїдної сталі

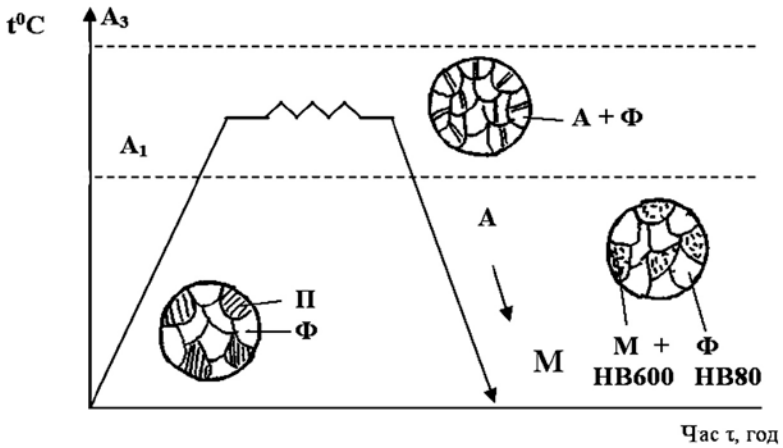


Рис. 9

9– Графік неповного гартування доевтектоїдної сталі

Практично нагрівання евтектоїдних і заевтектоїдних сталей до  $727^{\circ}C$  забезпечує розчинення однакової кількості вуглецю в аустеніті, а отже, забезпечує отримання однакової твердості мартенситу, але різної кількості в загартованій структурі цементиту. Твердість мартенситу залежно від вмісту вуглецю у сталі орієнтовно наведена на рисунку 10.

У сталях із вмістом вуглецю до  $0,6\%$  формується структура мартенситу, а при вмісті вуглецю більше, ніж  $0,6\%$ , формується структура мартенситу і залишкового аустеніту в зв'язку з температурою закінчення ма-

ртенситного перетворення ( $M_k$ ) нижче кімнатної температури. Чим більше вуглецю розчинено в аустеніті, тим більше у структурі мартенситу залишкового аустеніту, тим більше зниження твердості  $HRC$  (оскільки твердість аустеніту  $HB \approx 220$ ).

При виборі температур гартування і тривалості нагрівання при цих температурах необхідно враховувати, що чим вище температура гартування і тривалість нагрівання, тим більший розмір зерна аустеніту, а отже, тим більші голки мартенситу і більша крихкість загартованої сталі.

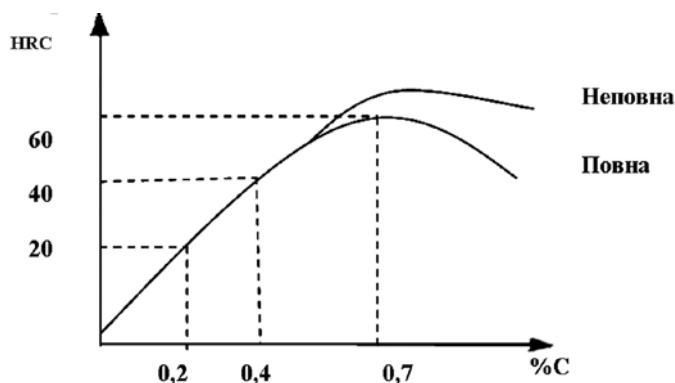


Рисунок 10 – Зміна твердості мартенситу залежно від вмісту вуглецю у сталі та виду термообробки

Тривалість нагрівання під час гартування можна визначити за формулою

$$\tau_{заг} = \tau_{нагр} + \tau_{витр},$$

де  $\tau_{заг}$  – загальна тривалість нагрівання;

$\tau_{нагр}$  – час наскрізного нагрівання;

$\tau_{витр}$  – час ізотермічної витримки для того, щоб відбулися всі фазові перетворення.

Тривалість наскрізного нагрівання і витримки для вуглецевих сталей можна визначити за таблицею 1.

Для легованих сталей тривалість витримки повинна бути збільшена на 25-40 %.

Охолоджувальні середовища під час гартування підбирають для забезпечення необхідної швидкості охолодження, і визначаються вони хімічним складом загартованих сталей.

Таблиця 1 – Норми нагрівання сталі при термічній обробці в лабораторних електричних печах

Температура нагрівання, °С	Форма виробу		
	коло	квадрат	пластина
	Тривалість нагрівання, хв		
	на 1 мм діаметра		на 1 мм товщини
600	2		3
700	1,5		2,2
800	1,0		1,5
900	0,8		1,2
1000	0,4		0,6

Найбільш поширеними є такі охолоджувальні середовища для сталей :

- із вмістом вуглецю < 0,5 % - вода;
- із вмістом вуглецю > 0,5 % - через воду в масло (для легованих сталей - масло).

Після гартування деталі обов'язково підлягають відпуску з метою підвищення їх ударної в'язкості і пластичності, зменшення твердості та внутрішніх напружень. Для відпуску сталь нагрівають до температури нижче точки  $A_{C1}$  (лінії PSK), а потім охолоджують, частіше за все - на повітрі.

Існує три види відпуску, що супроводжуються розпадом мартенситу.

**Низький відпуск** (150-250°C) застосовують для виробів, що повинні мати високу твердість ( $HB \approx 600$ ), наприклад, різальні інструменти, що не підлягають ударним навантаженням (напилки, плашки, мітчики, штампи холодного деформування, накатні ролики, висадкові штампи). Цей вид відпуску призначений, головним чином, для зменшення внутрішніх напружень у виробках.

**Середній відпуск** (350-400°C) застосовують для деталей, що повинні мати високі пружність та міцність при достатній в'язкості, наприклад, пружини, ресори. Твердість при цьому виді відпуску знижується до  $HB \approx 450$ .

**Високий відпуск** (550-650°C) забезпечує отримання найбільш в'язкої структури, що має достатньо високі міцність і твердість ( $HB \approx 350$ ). Такому відпуску піддають зазвичай деталі машин: вали, шестерні, деталі перед азотуванням і гартуванням ТВЧ, штампи гарячого деформування.



Мікроструктура вуглецевої сталі після низького відпуску – мартенсит відпуску, після середнього – тростит відпуску, після високого – сорбіт відпуску, які мають глобулярний цементит.

Гартування в поєднанні з високим відпуском називають *термополітшенням*. Після такої обробки сталь добре оброблюється на верстатах.

#### 4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота виконується з використанням КРМ впродовж чотирьох годин бригадою студентів із двох осіб.

1. Студенти ознайомлюються з теоретичним матеріалом.
2. Зареєструвавшись, студенти отримують згідно з варіантом, вибраним комп'ютером, відповідну марку сталі.
3. До завдання додаються необхідні температурні дані та режими термообробки.
4. Потрібно побудувати графік для відповідного режиму термообробки (використовуючи графічну частину редактора Word).
5. Визначити структуру (задається набір структур) та твердість (із поданого переліку значень твердості) після проведення термообробки.
6. Оформити висновки.

#### 5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке термічна обробка.
2. Критичні точки при нагріванні сталі:  $A_{c1}$ ,  $A_{c3}$ ,  $A_{cm}$ .
3. Проаналізувати перетворення при нагріванні доєвтектоїдних сталі.
4. Проаналізувати перетворення при нагріванні заєвтектоїдної сталі.
5. Перегрів і перепал.
6. Чому величина зерна є основним контрольним показником якості термообробки?
7. Які види перетворення може відчувати аустеніт при охолодженні?
8. Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту для сталі з 0,8% С. Що означають всі лінії на цій діаграмі? Які 3 області можна виділити?
9. Перлітного перетворення: механізм, умови, продукти перетворення.
10. Мартенситне перетворення: механізм, умови, продукт перетворення.

11. Характеристика мартенситу.
12. Чому мартенсит є нерівноважною структурою?
13. Що відбувається з мартенситом при нагріванні?
14. Процеси при нагріванні загартованої сталі.
15. Які структури утворюються в результаті розпаду мартенситу?
16. Відпал: сутність і різновиди.
17. Нормалізація: сутність і мета.
18. Загартування сталі: сутність і мета.
19. Різновиди гарту по температурі нагріву і способам охолодження.
20. Поверхнєве загартування сталі.
21. Поняття закалюваності сталі.
22. Поняття прокаливаності сталі.
23. Відпуск сталі: сутність, мета, види відпуску.

## 7. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

### «МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ»

#### 1. МЕТА РОБОТИ

Ознайомитися з двома основними видами хіміко-термічної обробки сталей: цементацією і азотуванням. Самостійно провести процес цементації низьковуглецевої сталі 20.

Вивчити мікроструктури на готових мікрошліфах зразків: після цементації, після цементації з подальшою термічною обробкою і після азотування.

#### 2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Зразки вуглецевої сталі для проведення цементації.
2. Електропіч з максимальною температурою нагріву 1000°C для проведення цементації.
3. Металевий контейнер з твердим карбюризатором.
4. Бак з водою для реалізації гартування зразків.
5. Щипці - пристосування для гартування зразків.
6. Прилад Роквелла для вимірювання твердості.
7. Металографічний мікроскоп МИМ-7 для вивчення мікроструктури.
8. Набір колекції мікрошліфів після цементації і азотування.

#### 3. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

*Хіміко-термічною обробкою* називається процес насичення поверхні сталі відповідним елементом з метою надання їй певних фізичних, хімічних та механічних властивостей.

Так, процес насичення поверхні вуглецем називається цементацією, азотом - азотування, алюмінієм - алітування, хромом - хромування і т.д.

*Цементация* полягає в дифузійному насиченні поверхні низьковуглецевих і легованих сталей (із вмістом вуглецю 0,1 - 0,3%) вуглецем з метою отримання твердої і зносостійкої поверхні виробу при збереженні в'язкої та пла-стичної серцевини. В результаті маємо вдаль поєднання високого опору зносу і гарного сприйняття ударних навантажень.

Розрізняють два види цементації - у твердому карбюризаторі і в газовому середовищі. У першому процесі матеріалом для насичення є деревне вугілля в зернах величиною 5-10 мм. Для прискорення процесу цементації до деревного вугілля додають активатори - вуглецевий барій і кальціо-вану соду. Цементация сталі здійснюється ато-марним вуглецем, який утворюється при розкладанні окису вуглецю, отриманого при взаємодії деревного вугілля з киснем, за реакцією:



Цементацию проводять при температурах вище точки  $A_{CI}$  - 910-930°C, коли стійкий аустеніт, в якому розчиняється у великих кількостях вуглець. Залежно від витримки при заданій температурі отримуємо відповідно і глибину цементованого шару від 0,5 до 2,5 мм (у розрахунку 0,1 мм за 1 годину насичення) з концентрацією вуглецю на поверхні до 0,8-1,2%. Концентрація вуглецю визначається лінією діаграми «залізо-вуглець», тобто межею розчинності вуглецю в аустеніті при відповідній температурі (рис 1,а). Подальше підвищення вмісту вуглецю надає крихкості цементованому шару, а також збільшує вміст залишкового аустеніту в поверхневому шарі після гартування.

Таким чином, цементований шар має змінну концентрацію вуглецю за глибиною, що зменшується від поверхні до серцевини. Відповідно до цього після повільного охолодження в структурі цементованого шару можна виділити: заевтектоїдну зону з перліто-цементитною структурою, евтектоїдну - з перлітною структурою і доевтектоїдну зону з феритно-перлітною структурою, що плавно переходить в основу вихідної структури маловуглецевої сталі (рис.1,б). Необхідно зазначити, що цементациєю досягається лише потрібний розподіл вуглецю за перерізом, і лише подальша термічна обробка (гартування і низький відпуск) остаточно формує структуру і властивості цементованого виробу. В результаті такої обробки на поверхні формується структура - високовуглецевий мартенсит відпуску (рис. 1,в). Твердість поверхні становить 58-62 *HRC*, а серцевини 25-35 *HRC* (зберігається в язкою).

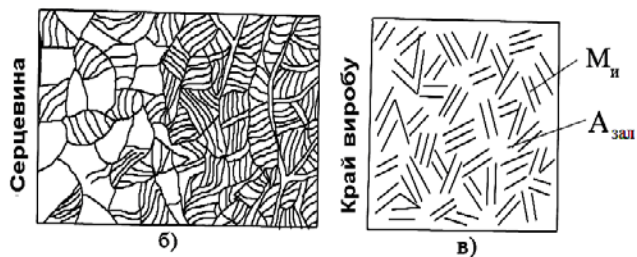
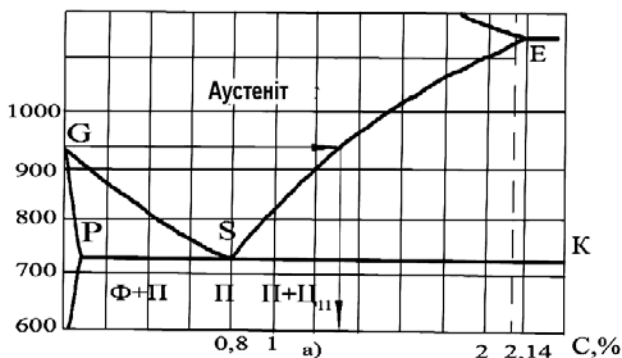
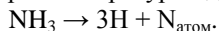


Рис. 1 – Частина діаграми стану системи «Fe-C» (а) і схеми мікроструктури сталі після цементації: б – після цементації, в – термічної обробки

**Азотування** - процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі азотом в атмосфері аміаку при температурі від 430°C до 750°C.



Азотування в промисловості застосовується з метою підвищення твердості, зносостійкості, корозійної стійкості та межі витривалості легированих сталей. Азотований шар має високу твердість-1100-1200 HV, тому на відміну від процесів цементації азотування проводять на готових виробах, що пройшли остаточну термічну обробку - гартування і високий відпуск і доведених шліфуванням до точного розміру. Твердість азотованого шару забезпечують нітриди і карбонітриди легуючих елементів, таких, як алюміній, хром, молібден, ванадій. Глибина азотованого шару залежить від часу витримки та температури азотування: при температурі 500-550 °C за 35-45 годин отримують азотований шар глибиною 0,4-0,6 мм. Щоб правильно розшифрувати мікроструктуру азотованого шару, необхідно звернутися до діаграми стану системи "залізо-азот" (рис. 2,а) і знати будову таких фаз:  $\alpha$  - азотистий ферит, що містить у розчині 0,1% N при 591°C і близько 0,01% C при кімнатній температурі;  $\gamma$  - азотистий аустеніт, що

існує як рівноважна фаза лише вище евтектоїдних температур - 591°C;  $\gamma'$ - нітрид  $\text{Fe}_4\text{N}$ , фаза впровадження має ґратку гранецентрованого куба;  $\epsilon$  – нітрид  $\text{Fe}_{(2-3)}\text{N}$ , фаза впровадження, яка має гексагональну ґратку.

Можливо також утворення нітридів легуючих елементів -  $\text{CrN}$ ,  $\text{MnN}$  і т.д. Утворені в азотованому шарі спеціальної сталі 38Х2МЮА -  $\epsilon$ ,  $\gamma'$ ,  $\alpha$  - фази, крім азоту містять і вуглець, тому є не тільки азотистими, а й вуглецевими карбонітридами -  $\text{Fe}_2(\text{NC})$ ,  $\text{Fe}_4(\text{NC})$  і  $\text{Fe}_3(\text{NC})$ .

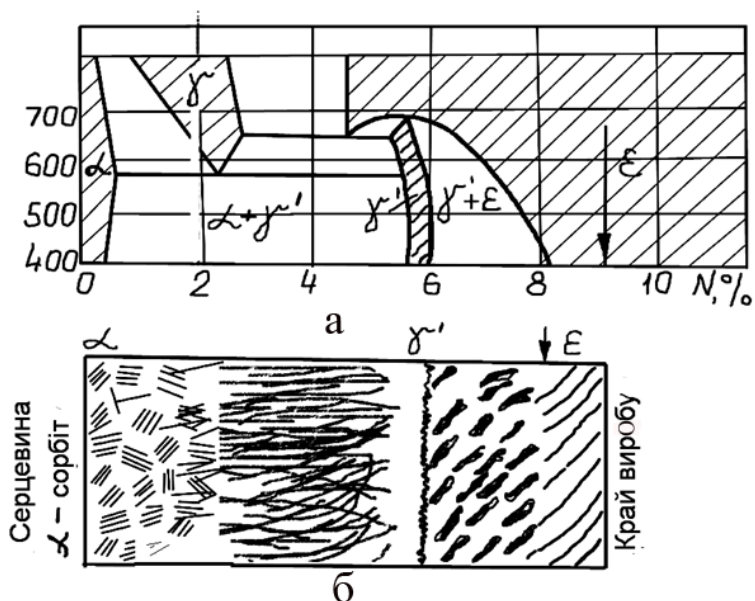


Рисунок 2 - Діаграма стану «Fe – N» (а) і мікроструктури азотованого шару (схема) – (б)

#### 4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Отримати зразки низьковуглецевої сталі 20, металевий ящик для зразків і твердий карбюризатор.

2. Підготувати ящик зі зразками для цементації: насипати в ящик шар карбюризатора товщиною 3-4 см і покласти три зразки, засипати шаром карбюризатора і ящик закрити кришкою.

3. Ящик зі зразками завантажити в піч, нагріту до температури 950 °C, провести ізотермічну витримку при даній температурі до отримання цементованого шару заданої глибини.

4. Ящик вийняти з печі, зняти кришку; два зразки охолодити у воді чи маслі, третій - разом із ящиком.
5. Виміряти твердість загартованих зразків на приладі Роквелла.
6. Отримати комплект мікрошліфів після хіміко-термічної обробки.
7. Дослідити мікроструктуру шліфів: після цементації, після цементації з наступною термообробкою, а також після азотування.
8. Схематично замалювати вивчені мікроструктури.

### **5. ЗМІСТ ЗВІТУ**

Мета роботи. Основні положення (коротко). Схеми мікроструктур сталей після хіміко-термічної обробки. Висновок: аналіз впливу цементації і азотування на зміну структури і властивостей сталей.

### **6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Призначення процесу цементації, азотування.
2. Марки сталей для хіміко-термічної обробки.
3. Види хіміко-термічної обробки.
4. Механізм утворення і будови цементованого шару.
5. Види цементації.
6. Процес цементації у твердому карбюризаторі.
7. Термічна обробка сталі після цементації.
8. Чим зумовлена висока твердість азотованого шару?
9. Режими азотування.
10. Мікроструктура азотованого шару спеціальної сталі марки 38Х2МЮА.

## 8. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

### «ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСИВОСТЕЙ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МІДІ (ЛАТУНЕЙ ТА БРОНЗ)»

#### 1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити структуру та властивості сплавів на основі міді у рівноважному та нерівноважному станах.
2. Вивчити мікроструктури латуней (мідно-цинкових сплавів) їх марки, властивості та сфери застосування.
3. Вивчити мікроструктури бронз їх марки, властивості та сфери застосування.
4. Ознайомитися з режимами термічної обробки та використання сплавів.

#### 2. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 2.1. Зразки матеріалів.
- 2.2. Колекції мікрошліфів латуней та бронз.
- 2.3. Металографічний мікроскоп.

#### 3. КОРОТКІ ВІДОМОСТІ

**Мідь** – пластичний метал, світло-червоного кольору. Відносно легко відновлюється з руди. Мідь має температуру плавлення 1083°C, густина – 8,94г/см<sup>3</sup>. Тип ґратки – ГЦК, із періодом  $a=0,3615$  нм, діаметр атома –  $d_{Cu}=0,256$  нм. Границя міцності ( $\sigma_B$ ) складає 200-250 МПа, відносне подовження (%) – 50 %, звуження ( $\psi$ ) – 75 %, рівень пластичності та міцність залежать від ступеня чистоти металу. Цей метал застосовується в багатьох галузях промисловості, у чистому вигляді широко застосовується в електротехніці та приладобудуванні. До особливостей цього металу відносяться висока тепло- та електропровідність. Питома теплопровідність при 20°C складає 387 Вт/(м\*К). Питомий електроопір  $1,72 \cdot 10^{-6}$  Ом\*см. Міді притаманна висока коро-зійна стійкість у звичайних умовах та в морській воді, стійкість у сірчаних газах є низькою, у вологому повітрі утворюється закис  $Cu_2O$ . До недоліків міді відносять високу густину порівняно із сталями. Мідь добре обробляється тиском але через високу в'язкість погано піддається різанню. Мідь задовільно зв'язується та добре паяється. Із підвищенням температури міцність міді



зменшується і спостерігається зростання пластичності. Властивості міді суттєво залежать від наявності в ній домішок.

**Латуні** – це подвійні або багатокомпонентні сплави на основі міді, в яких головним легуючим елементом є цинк. Латуні мають високі механічні та технологічні властивості. Структура та властивості латуней визначаються діаграмою стану Cu-Zn (рис.1.2). За діаграмою стану в системі існують п'ять перетворень перитектичного типу при температурах 905°C, 834°C, 697°C, 594°C, 424°C. Внаслідок цих перетворень утворюються наступні фази: *b*, *g*, *d*, *e*, *h*. Розчинність цинку в міді є значною: *a*-фаза – твердий розчин заміщення атомів цинку в ГЦК-гратці міді – містить 32,5% Zn при температурі 905°C, 39% Zn при температурі 454°C, 36% Zn при кімнатній температурі. Основу *b*-фази складає електронна сполука CuZn зі співвідношенням 3/2 ((кількість електронів)/(кількість атомів)), тип ґратки – ОЦК. Нижче температури 454-468°C в  $\beta$ -фазі відбувається впорядкування з утворенням впорядкованої *b\phi*-фази з високою твердістю. Це перетворення супроводжується зростанням крихкості та зменшенням пластичності в сплавах, що містять  $\beta$ -фазу. Основу *g*-фази та *e*-фази складають електронні сполуки Cu<sub>5</sub>Zn<sub>8</sub> (складна кубічна ґратка) та CuZn<sub>3</sub> (гексагональна щільно пакована ґратка) з електронними концентраціями 21/13 та 7/4, відповідно.

**Бронзи** – сплави міді з оловом, алюмінієм, берилієм, свинцем, кремнієм, марганцем, тобто сплави, в яких основним легуючим елементом не є цинк або нікель. Бронзи позначають буквами **Бр**, потім вказують основні легуючі елементи та їх вміст в сплаві. Цинк позначають – *Ц*, фосфор – *Ф*, берилій – *Б*, хром – *Х*. БрОЦСН 3-7-5-1 – це бронза, що містить 3% Sn, 7% Zn, 5% Pb, 1% Ni, решта – мідь.

#### 4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

4.1. Зарисувати початкову область діаграми стану «Cu-Zn» (до 50% Zn), нанести лінії досліджених сплавів; описати фази та структури, що утворюються у відповідності до стану рівноваги.

4.2. Описати вплив цинку на механічні властивості сплавів на основі міді.

4.3. Зарисувати початкові області діаграм стану «Cu-Sn» (до 30% Sn), «Cu-Al» (до 16% Al), «Cu-Be» (до 5% Be), «Cu-Mn», «Cu-Pb», нанести на них лінії досліджених сплавів. Описати фази і структури, що утворюються в рівноважному стані та після різних режимів термічної обробки.

4.4. Під кожною зарисовкою мікроструктури позначити марку сплаву.

4.5. На кожній зарисованій мікроструктурі вказати стрілками різні фази і структурні складові і біля стрілок на полях написати їх найменування.

4.6. Отримати у викладача або лаборанта 2-3 зразки сплавів (без маркування) для самоконтролю і оцінки ступеня засвоєння вивченого матеріалу.

## 5. ЗМІСТ ЗВІТУ

**Мета роботи.** Основні класифікації сплавів на основі міді. Зарисовки мікроструктур з короткою характеристикою. Висновки про виконану роботу.

5.1. На основі літературних даних заповнити таблиці 1,2,3. для латуней.

Таблиця 1.

Хімічний склад та структура досліджуваних латуней

Марка сплаву	Вміст елементів, %			Зовнішній вигляд взірця	Структура (записати)
	Cu	Zn	інші		

Таблиця 2.

Механічні властивості латуней у рівноважному стані та їх призначення.

Марка латуні	$\sigma_B$ , мПа	$\epsilon$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Призначення

Таблиця 3.

Механічні властивості спеціальних ливарних латуней та їх призначення.

Марка латуні	$\sigma_B$ , мПа	$\epsilon$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ, мПа	Призначення

5.2. Зарисувати та описати мікроструктури досліджуваних зразків латуней.

5.3. На основі літературних даних заповнити таблиці 4,5,6. для бронз.

Таблиця 4.

Хімічний склад та структура досліджуваних бронз.

Марка сплаву	Вміст елементів, %					Зовнішній вигляд взірця	Структура (записати)
	Sn	Zn	Pb	P	інші		

Таблиця 5.

Механічні властивості деформованих бронз

Марка латуні	$\sigma_b$ , мПа	$\epsilon$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Призначення

Таблиця 3.

Механічні властивості ливарних бронз та їх призначення.

Марка латуні	$\sigma_b$ , мПа	$\epsilon$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ, мПа	Призначення

5.2. Зарисувати та описати мікроструктури досліджуваних зразків латуней.

## 6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Мідь (будова, властивості міді).
2. Класифікація сплавів міді.
3. Мідно-цинкові сплави латуні. Діаграми фазової рівноваги. Структура, властивості та застосування латуней. Маркування.
4. Бронзи олов'яні. Діаграми фазової рівноваги. Структура, властивості та застосування олов'яних бронз. Маркування. Застосування
5. Бронзи які не містять олова. Діаграми фазової рівноваги "мідь-алюміній", "мідь-берилій", "мідь-марганець". Будова та властивості сплавів. Маркування та застосування.
6. Технологічні властивості латуней та бронз.
7. Бронзи кремнієві та свинцеві. Структура та властивості. Спеціальні мідні сплави. Будова, властивості та застосування.

## 9. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

### «ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСИВОСТЕЙ АЛЮМІНІСВИХ СПЛАВІВ (ЛИВАРНИХ ТА ДЕФОРМОВНИХ)»

#### 1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити структуру та властивості сплавів на основі міді у рівноважному та нерівноважному станах.
2. Вивчити мікроструктуру алюмінієвих сплавів.
3. Вивчити сфери застосування алюмінієвих сплавів.
4. Ознайомитися з режимами термічної обробки та використання сплавів.

#### 2. ОБЛАДНАННЯ І МАТЕРІАЛИ

- 2.1. Зразки матеріалів
- 2.2. Колекції мікрошліфів сплавів на основі алюмінію.
- 2.3. Металографічний мікроскоп.

#### 3. КОРОТКІ ВІДОМОСТІ

**Алюміній** – метал світло-сріблястого кольору. Температура плавлення  $T_{пл}=660^{\circ}\text{C}$ , густина  $\rho=2,7 \text{ г/см}^3$ . Алюміній має ГЦК ґратку,  $d_{Al}=0,286 \text{ нм}$ . Чистий алюміній має невисоку міцність  $\sigma_{sv}=20\text{-}30 \text{ МПа}$ , пластичність висока  $d=30\text{-}50\%$ . Алюміній має високу тепло- та електропровідність. Електропровідність алюмінію (99,5%) складає приблизно 62,5% від електропровідності міді. Алюміній – хімічно активний метал.

Корозійна стійкість його пов'язана з тим, що на поверхні, при взаємодії з окислювачем, виникає щільна плівка  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , яка перешкоджає подальшій взаємодії металу з навколишнім середовищем. Чистий алюміній маркують АД0, АД1. найчастіше зустрічаються наступні домішки: залізо, кремній, мідь, марганець, цинк. Залізо практично не розчиняється в алюмінії, утворюючи сполуку  $\text{Al}_3\text{Fe}$ , що виділяється у вигляді голок, погіршується пластичність та корозійна стійкість. Границя міцності для алюмінію високої чистоти (99,998%)  $\sigma_{sv}=40 \text{ МПа}$ , для алюмінію технічної чистоти (99,7%)  $\sigma_{sv}=70\text{-}80 \text{ МПа}$ . Домішки марганцю (0,05%) викликають аномально крупне зерно в листовому алюмінії після відпалення.

Технічний алюміній випускають у вигляді прутків, листів, дроту та різного профілю. Використовують алюміній для виготовлення проводів, оболонки для високовольтного кабелю, в харчовій промисловості – різні емкості, фольга. В промисловості використовують сплави алюмінію, основні системи: Al-Cu, Al-Si, Al-Mn, Al-Mg, Al-Cu-Mg. Найчастіше струк-

тура сплавів на основі алюмінію складається при кімнатній температурі з  $\alpha$ - твердого розчину та інтерметалідної фази.

За способом виготовлення виробів алюмінієві сплави поділяють на:

1. **Деформовні** – призначені для пластичного деформування при виготовленні напівфабрикатів та деталей:

- деформовні алюмінієві сплави, що не зміцнюються термообробкою;

- деформовні алюмінієві сплави, що зміцнюються термообробкою.

2. **Ливарні** – призначені для фасонного лиття.

3. **Сплави**, що отримують за технологією порошкової металургії:

- спечені алюмінієві порошки (САП);

- спечені алюмінієві сплави (САС).

#### **4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**

4.1. Зарисувати початкову область діаграми стану «Al-Mn», «Al-Mg» та діаграму стану «Al-Cu»(до 50% Zn), нанести лінії досліджених сплавів; описати фази та структури, що утворюються у відповідності до стану рівноваги.

4.2. Описати характер взаємодії алюмінію з легуючими компонентами.

4.3. Під кожною зарисовкою мікроструктури позначити марку сплаву. На кожній зарисованій мікроструктурі вказати стрілками різні фази і структурні складові і біля стрілок на полях написати їх найменування.

4.5. Зарисувати діаграму стану «Al-Si», нанести на неї структури фази, що утворюються відповідно до стану рівноваги, нанести на діаграму лінії досліджених сплавів.

4.6. Отримати у викладача або лаборанта 2-3 зразки сплавів (без маркування) для самоконтролю і оцінки ступеня засвоєння вивченого матеріалу.

#### **5. ЗМІСТ ЗВІТУ**

Мета роботи. Основні класифікації сплавів на основі алюмінію. Зарисовки мікроструктур з короткою характеристикою. Висновки про виконану роботу.

5.1. На основі літературних даних заповнити таблиці 1,2,3. для латуней.

Таблиця 1.

Хімічний склад та структура досліджуваних сплавів

Марка сплаву	Вміст елементів, %				Зовнішній вигляд взірця	Структура (записати)
	Cu	Mg	Mn	інші		

Таблиця 2.

Механічні властивості сплаві АМц та АМг у рівноважному стані та їх призначення латуней у рівноважному стані та їх призначення.

Марка сплаву	$\sigma_B$ , мПа	$\sigma_{0,2}$ , мПа	$\epsilon$ , %	$\sigma-1$ , мПа	Призначення

Таблиця 3.

Механічні властивості сплавів, що зміцнюються термічною обробкою, та їх призначення.

Марка сплаву	$\sigma_B$ , мПа	$\sigma_{0,2}$ , мПа	$\epsilon$ , %	$\sigma-1$ , мПа	Призначення

5.2. Зарисувати та описати мікроструктури досліджуваних зразків ливарних алюмінієвих сплавів.

5.3. На основі літературних даних заповнити таблиці 4,5,6. для ливарних алюмінієвих сплавів.

Таблиця 4.

Хімічний склад та структура досліджуваних бронз.

Марка сплаву	Вміст елементів, %					Зовнішній вигляд взірця	Структура (записати)
	Si	Mg	Cu	Mn	інші		

Таблиця 5.

Механічні властивості силуміну до та після модифікування

Марка сплаву	$\sigma_B$ , мПа	$\sigma_{0,2}$ , мПа	$\epsilon$ , %	$\sigma-1$ , мПа	Призначення
АЛ2 (до модифікування)					

АЛ2 (після модифікування)					
---------------------------	--	--	--	--	--

Таблиця 6.

Механічні властивості сплавів системи «Al-Cu», «Al-Mn» та їх призначення .

Марка латуні	$\sigma_B$ , мПа	$\epsilon$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ, мПа	Призначення

5.2. Зарисувати та описати мікроструктури досліджуваних зразків латуней.

### 6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Алюміній (будова, властивості). Взаємодія алюмінію з легуючими елементами.

2. Класифікація алюмінієвих сплавів. Маркування.

3. Діаграми фазової рівноваги у подвійних та потрійних системах на основі алюмінію. Маркування.

4. Деформовні алюмінієві сплави, що не зміцнюються термічною обробкою. Структура та властивості. Маркування. Застосування

5. Деформовні алюмінієві сплави, що зміцнюються термічною обробкою. Структура та властивості. Маркування. Маркування та застосування.

6. Ливарні алюмінієві сплави. Модифікування. Структура, властивості, застосування.

7. Спечені алюмінієві порошки. Спечені алюмінієві сплави. Методи їх отримання. Структура, властивості та застосування.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуляев А.П. Металловедение: учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1985. – 542 с.
2. Травин О.В., Травина Н.Т. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
3. Материаловедение: учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 648 с.
4. Металлография железа. Том .1. Основы металлографии (с атласом микрофотографий). Перев.с англ.. Издательство Металлургия, 1972, 240 с.
5. Марочник сталей и сплавов/ В.Г.Сорокин, А.В.Волосникова, С.А. Вяткин и др.. Под общ. Ред.. В.Г.Сорокина.- М.:Машиностроение, 1989.- 640с.
6. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. - М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.
7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1990. - 526 с.
8. Конструкционные материалы: справочник /под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. -688 с.
9. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение: учебное пособие для вузов /под ред. А.Г. Рахштадта. - М.: Металлургия, 1989. - 454 с.
10. Пчелинцев В.А., Руденко Л.Ф., Капуста В А. Методические указания к лабораторной работе «Изучение влияния пластической деформации и рекристаллизации на структуру и свойства металлов». – Харьков, 1989. -28 с.
11. Руденко Л.Ф., Пчелинцев В.А. Методические указания к лабораторной работе «Структура и классы легированных сталей после отжига и нормализации». – Сумы: СумГУ, 1998. -14 с.



Навчально-методичне видання

## **Матеріалознавство конструкційних матеріалів**

Лабораторний практикум

Укладач *Ю.І.Фордзюн*

Тираж 15 пр.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видав-  
ничої продукції ДК № 4916 від 16.06.2018 р.

Редакційно-видавничий відділ МДУ, 89600, м.Мукачево,  
вул.Ужгородська, 26



# МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

89600, м. Мукачево, вул. Ужгородська, 26

тел./факс +380-3131-21109

Веб-сайт університету: [www.msu.edu.ua](http://www.msu.edu.ua)

E-mail: [info@msu.edu.ua](mailto:info@msu.edu.ua), [pr@mail.msu.edu.ua](mailto:pr@mail.msu.edu.ua)

Веб-сайт Інституційного репозитарію Наукової бібліотеки МДУ: <http://dspace.msu.edu.ua:8080>

Веб-сайт Наукової бібліотеки МДУ: <http://msu.edu.ua/library/>