

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного  
господарства та природокористування

Кафедра автомобілів та автомобільного господарства



**02-03-112М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни  
«Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за  
освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування»  
спеціальності «Галузеве машинобудування» (за скороченим  
терміном навчання) денної та заочної форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННМІ  
Протокол № 2 від 26 жовтня 2021 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» спеціальності «Галузеве машинобудування» (за скороченим терміном навчання) денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Пікула М. В. – Рівне : НУВГП, 2021. – 24 с.

Укладач:

Пікула Микола Веніамінович, старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства.

Методичні вказівки схвалено на засіданні кафедри автомобілів та автомобільного господарства  
Протокол № 3 від 10 жовтня 2021 року

Відповідальний за випуск: Пікула М. В., в.о. завідувача кафедри автомобілів та автомобільного господарства.

Керівник групи забезпечення спеціальності  
133 «Галузеве машинобудування»

Нечидюк А. А.

© М. В. Пікула, 2022  
© НУВГП, 2022

## ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1 «Дослідження твердості металів».....	4
Лабораторна робота № 2 «Дослідження макроструктури металів» .....	8
Лабораторна робота № 3 «Дослідження мікроструктури вуглецевих сталей і чавунів» .....	14
Лабораторна робота № 4 «Дослідження впливу термічної обробки на структуру і властивості вуглецевих сталей» .....	20

## Лабораторна робота № 1

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ

**Мета роботи:** вивчити методи визначення твердості металів; набути практичні навички визначення твердості методами Брінелля та Роквелла; порівняти значення твердості різних металів.

**Забезпечення роботи:** набір зразків різних сплавів, твердомір Брінелля, мікроскоп МПБ-2, твердомір Роквелла, довідкові таблиці.

#### 1.1. Теоретичні відомості

*Твердість* - це здатність металу опиратися проникненню в нього іншого, більш твердого тіла, яке під дією навантаження не отримує залишкової деформації. Тіло, що проникає у поверхню, називається індентором і може мати форму кульки, конуса чи піраміди. Індентори виготовляють з інструментальних сталей, твердих сплавів або технічних алмазів.

У виробничих умовах застосовують методи Брінелля і Роквелла, для дослідницьких цілей - метод Віккерса.

##### 1.1.1. Визначення твердості методом Брінелля

Сутність методу, названого в честь шведського інженера Ю.А. Брінелля, ґрунтується на втисненні у поверхню сталльної гартованої кульки діаметром  $D$  під дією навантаження  $P$  протягом часу  $\tau$ . В результаті пластичної деформації на поверхні утворюється відбиток у вигляді сферичної лунки діаметром  $d$  (рис. 1.1).

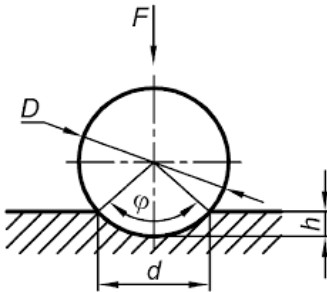


Рис.1.1. Схема вимірювання за методом Брінелля:

$P$  - навантаження, кг (Н);

$D$  - діаметр кульки, мм;

$d$  - діаметр відбитка, мм

$\phi$  - кут втиснення, град

Значення твердості визначають за формулами:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ кг/мм}^2 \quad (1.1)$$

Якщо навантаження задано у Н, то формула (1.1) має вигляд:

$$HB = \frac{0.102 \cdot P}{F} = \frac{0.102 \cdot 2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ кг/мм}^2 \quad (1.2)$$

Між межею міцності  $\sigma_0$  і твердістю металу є залежність  $\sigma_0 = a \cdot HB$ , де  $a$  - коефіцієнт (сталь - 0,37, мідні сплави – 0,5, алюмінієві сплави – 0,34, чавуни – 0,1).

Значення  $P$  визначається як  $P = KD^2$ , де  $K$  - коефіцієнт пропорційності (табл.1.1). Діаметр кульки залежить від товщини зразка:  $S > 6$  мм -  $D = 10$  мм,  $s = 3 \dots 6$  мм -  $D = 5$  мм,  $2 < S < 3$  мм -  $D = 2,5$  мм.

Витримку  $\tau$  зразка під навантаженням призначають залежно від металу. Для чавуна та сталі  $\tau = 10 \dots 15$  с; для кольорових сплавів  $\tau = 10 \dots 180$  с.

Таблиця 1.1

**Значення коефіцієнта пропорційності для різних матеріалів**

Метали та сплави	$K$ , Н/мм <sup>2</sup> (кг/мм <sup>2</sup> )	$HB$ , кг/мм <sup>2</sup>
Залізо, сталь, чавун	294 (30)	96...450
Мідь, алюміній і сплави	98 (10)	32...200
Підшипникові сплави	24,5 (2,5)	8...50

Метод Брінелля не застосовують для металів твердістю більше 450 НВ, тому що в цьому випадку може відбутися деформація кульки і кінцевий результат буде спотворений. Цим методом не можна вимірювати твердість листових зразків товщиною менше 0,09 мм і виробів складної конфігурації та малої жорсткості.

**1.1.2. Визначення твердості за методом Роквелла**

Сутність методу, названого в честь американського металурга С. Роквелла, ґрунтується на втисненні у випробувану поверхню сталльної кульки діаметром 1,588 мм або алмазного конуса з кутом при вершині 120° під дією навантаження  $P$ , яке прикладається до зразка в декілька стадій (рис.1.2).

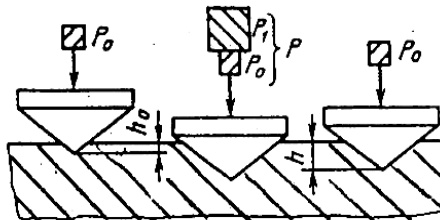


Рис.1.2. Схема проникнення індентора за методом Роквелла

Значення твердості в умовних одиницях визначають як:

шкали А і С  $HR = 100 - e$  (1.3)

шкала В  $HR = 130 - e$  (1.4)

де  $e = \frac{h - h_0}{0,002}$  (1.5)

Твердість вимірюють приладом ТК-2. На його фронтальній частині встановлено індикатор, за шкалою якого і відраховують значення твердості. За одиницю твердості прийнята величина, яка відповідає переміщенню кульки (конуса) на 0,002 мм.

Таблиця 1.2.

### Технічні характеристики преса ТК-2

Позначення		Межі вимірювань		Наконечник	P, (Н)
Шкала	Твердість	HR	HV		
В (червона)	HRB	25...100	60...240	Кулька	1000
С (чорна)	HRC	20...67	240...900	Конус	1500
А (чорна)	HRA	70...85	390...900	Конус	600

Метод Роквелла більш поширений, оскільки має ширші межі з визначення максимальних значень твердості (до *HB* 800) при використанні мінімальної товщини зразків 0,4 мм. Проте метод не застосовують для випробування чавунів, внутрішніх криволінійних поверхонь з радіусом кривизни менше 5 мм і нежорстких деталей.

## 1.2. Завдання на роботу.

### Вимірювання твердості методом Брінелля.

1. Встановити вид металів заданих зразків, виміряти їхню товщину і вибрати необхідні умови випробування - діаметр кульки, навантаження і час. Налагодити прилад на заданий режим роботи.
2. Встановити зразок на столик, підвести його до індентора, підтиснути до упора і включити електропривід. Після автоматичного виключення електродвигуна опустити столик і зняти зразок.
3. Аналогічно повторити випробування інших зразків.
4. За допомогою мікроскопа МПБ-2 виміряти два взаємно перпендикулярних діаметри ( $d_1$  і  $d_2$ ) кожного відбитка, обчислити середнє значення, а потім визначити твердість зразка в цілому.
5. Результати вимірів занести у табл.1.3.

### Вимірювання твердості методом Роквелла.

1. Встановити орієнтовний вид металу і передбачувану твердість зразків, визначити умови випробування кожного з них - індентор, навантаження, шкала вимірювання. Налагодити прилад на потрібний режим. Включити електродвигун приводу.
2. Встановити зразок на столик приладу, підвести зразок до індентора і далі до суміщення маленької стрілки індикатора з червоною точкою, сумістити "нуль" чорної шкали з кінцем великої стрілки, а

потім натиснути і відпустити педаль пуску. Наприкінці циклу іспитів зафіксувати значення твердості проти кінця великої стрілки на відповідній шкалі і опустити столик.

3. Повторити випробування твердості ще в двох точках. Аналогічно повторити випробування зразків з інших матеріалів.

4. За значеннями твердості, визначеної в різних точках, для кожного зразка, знайти середнє значення, а потім перевести отримане значення твердості у шкали за Брінеллем і за Віккерсом.

5. Результати вимірів занести у табл.1.4.

Таблиця 1.3

**Протокол результатів вимірювань за Брінеллем**

Матеріал	Діаметр кульки, $D$ , мм	Витримка, $\tau$ , с	Навантаження, $P$ , Н	Діаметр відбитка, мм			$HV$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma$ , Н/мм <sup>2</sup>
				$d_1$	$d_2$	$d_{cp}$		

Таблиця 1.4.

**Протокол результатів вимірювань за Роквеллом**

Метал	Індентор	Шкала	Навантаження, $P$ , Н	Твердість				$HV$ , Н/мм <sup>2</sup>	$HV$ , Н/мм <sup>2</sup>
				1	2	3	Ср.		

**Контрольні запитання**

1. Що таке твердість? 2. В чому полягає сутність вимірювання твердості за методом Брінелля? 3. В чому полягає сутність вимірювання твердості за методом Роквелла? 4. Як позначається твердість виміряна за методом Брінелля? 5. Як позначається твердість виміряна за методом Роквелла?

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАКРОСТРУКТУРИ МЕТАЛІВ

**Мета роботи:** Навчитися проводити дослідження макроструктури металів, виявляти дефекти, визначати вид зламу, умови та характер попередньої обробки.

**Забезпечення роботи:** набір зразків, реактиви, плакати

### 2.1. Теоретичні відомості

*Макроскопічний аналіз (макроаналіз)* - це дослідження будови металів і сплавів неозброєним оком або оптичними приладами, які мають невелике (до 30-ти разів) збільшення. Виявлену будову називають *макроструктурою*. Оскільки спроможність людського ока незначна (не більше 0,3 мм), то й мінімальні розміри елементів досліджуваної структури повинні перевищувати 0,3 мм.

Завдання макроаналізу - визначення порушення суцільності металу (пухирів, раковин, тріщин); дефектів зварювання (непроварювання, порожнини); встановлення хімічної неоднорідності сплаву (ліквації); визначення способу обробки деталі (лиття, обробка тиском, різання); визначення неоднорідності будови внаслідок термічної чи хіміко-термічної обробки (глибина поверхневого гартування, глибина цементації); встановлення причини руйнування деталі за характером структури зламів.

Макроаналіз буває трьох видів: зовнішній огляд; вивчення макрошліфів; вивчення зламів.

**Зовнішній огляд** дозволяє встановити зовнішні дефекти будови деталі: тріщини, раковини, відшарування часток металу, порушення форми деталі, характер розташування дефектів (суцільний, зональний, рядковий чи радіальний).

**Вивчення макрошліфів.** *Макрошліф* - це поверхня зразка, підготовлена для дослідження макроструктури. Зразок вирізають з визначеного місця деталі, залежно від того, що досліджують (вилівок, штамповка, прокат, зварна чи термічно оброблена деталь) і що потрібно вивчити (структура кристалізації, ліквація тощо), поверхню шліфують абразивним папером різних номерів, після кожного з яких напрям шліфування змінюють на 90°. Після цього поверхню промивають водою, просушують фільтрувальним папером і травлять для виявлення досліджуваної структури.

*Дендритну будову* досліджують з застосуванням 15 %-ого розчину персульфата амонію ( $(NH_4)_2S_2O_8$ ) або 50 %-ого розчину соляної кислоти



$HCl$  при температурі 60...70 °С. Час травлення - 15...25 хв. Міждендритні проміжки витравлюються, а осі дендритів виступають на поверхню. Пори та тріщини проявляються у вигляді темних ділянок різної форми (рис.2.1).

**Дослідження волокнистої будови.** Волокниста структура характерна для пластично деформованого металу, який має анізотропію властивостей у різних напрямках. Так, уздовж волокон ударна в'язкість, пластичність і опір руйнуванню значно вища, ніж впоперек. Тому бажано виготовляти вироби так, щоб волокна не перерізалися, а максимально відповідали їхній конфігурації.

Волокна в металі – це переважно витягнуті осі первинних кристалів (дендритів), напрям яких залежить від напрямку пластичної деформації (рис. 2.2). За їх характером можна встановити спосіб виготовлення деталі (обробка тиском або різанням).

Для виявлення волокнистої будови деформованих сталей використовують розчин хромпіка в сірчаній кислоті -  $K_2Cr_2O_7$  (25 г) +  $H_2SO_4$  (60 мл) +  $H_2O$  (500 мл) чи реактив Гейна -  $NH_4Cl$  (53 г) +  $Cu Cl_2$  (85г) +  $H_2O$  (1000 мл).

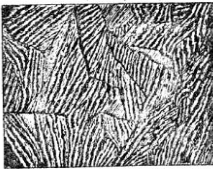


Рис.2.1. Будова литої сталі

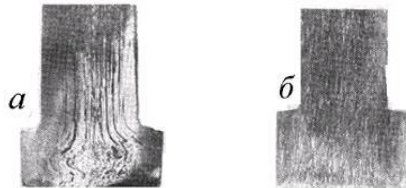


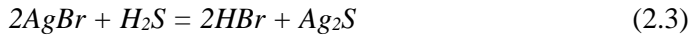
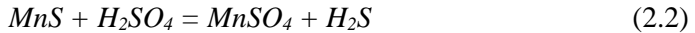
Рис.2.2. Макроструктура деталі, виготовленої обробкою тиском (а) і різанням (б)

**Дослідження ліквації сірки.** Сірка практично нерозчинна в залізі, проте утворює з ним сульфід заліза  $FeS$ , який входить в склад евтектики, що утворюється при температурі 988 °С. Наявність легкоплавкої крихкої евтектики, яка розміщується на границях зерен, робить сталь крихкою при температурах, близьких до 800 °С. Таке явище має назву *червоноламкості*. Шкідливий вплив сірки посилюється її нерівномірним розміщенням по об'єму металу – схильністю до ліквації.

Для виявлення ліквації сірки у сталі застосовують метод Баумана. Поверхню макрошліфа протирають ватою, змоченою спиртом. Аркуш бромосрібного фотопаперу змочують на світлі і витримують 5...10 хв у 5-відсотковому розчині  $H_2SO_4$ , підсушують і прикладають емульсією

до досліджуваної поверхні. Папір потрібно прогладити, не допускаючи його зміщення відносно макрошліфа.

На ділянках зі скупчення сульфідів  $FeS$  і  $MnS$ , відбуваються реакції:



Після витримки (3...15 хв) папір відділяють, промивають водою, фіксують зображення у гіпосульфаті протягом 20...30 хв, знову промивають і просушують. Сірчисте срібло  $Ag_2S$  має темно-коричневий колір, тому темні ділянки на фотопапері вказують контури та характер розподілу включень сульфідів у досліджуваній сталі.



Рис. 2.3. Хімічна неоднорідність зварного з'єднання

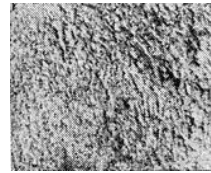


Рис.2.4. Крихкий злам

**Дослідження ліквації фосфору.** Фосфор є шкідливою домішкою у сталі - має підвищену схильність до ліквації. Він надає сталі понижену міцність при кімнатних температурах - *холодноламкість*. Для визначення ліквації фосфора використовують реактив Гейна, у якому залізо розчиняється і витісняє мідь, яка осаджується на поверхні зразка. Струменем води мідь змивають з поверхні, макрошліф протирають і просушують. Місця, збагачені фосфором, матимуть темний колір. Це відбувається тому, що сталь, багата фосфором, розчиняється швидше.

**Вивчення зламів.** Злам - це поверхня, по якій відбулося руйнування деталі (зразка). Вони бувають кристалічні (крихкі), волокнисті (в'язкі) та втомленісні.

*Крихкий злам* є результатом крихкого руйнування, яке відбувається під дією зовнішніх сил без помітної пластичної деформації (рис. 2.4).

Форма зерен при руйнуванні не спотворюється, тому на такому зламі можна спостерігати вихідні форму і розмір зерен металу. При крихкому зламі на поверхні є плоскі блискучі ділянки (фасетки).

Крихкі злами відбуваються при дії таких факторів: висока швидкість навантаження; наявність багатовісного напруженого стану; низькі температури; наявність концентраторів напруги; наявність тріщини.

Крихкість металу посилюють великий розмір зерна, наявність наклепу, розпад твердого розчину.

Крихий злам може відбутися як по межах зерен (міжкристалічний), так і по зернах металу (транскристалічний).

Транскристалітний злам з вибіркоким блиском, зв'язаний з впорядкованою кристалічним будовою окремих областей, називається нафталіністим (рис.2.5, а).

Міжкристалітний злам крупнозернистого металу називаються каменеподібним (рис.2.5, б).

Якщо руйнування відбувається по межах пов'язаних дендритних кристалів, то крихий злам називається дендритним (рис.2.5, в).

Руйнування уздовж волокон деформованого металу, забрудненого неметалічними вкрапленнями, називають шиферним (рис.2.5, г).

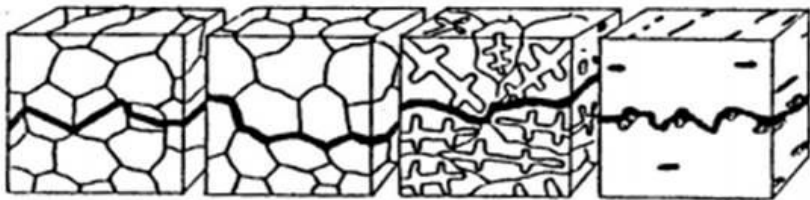


Рис. 2.5. Види крихких зламів: а - нафталіністий; б - каменеподібний; в - дендритний; г - шиферний

В'язкий злам має волокнисту матову поверхню (рис. 2.6) і свідчить про те, що метал перед руйнуванням зазнає значного пластично деформування. По виду в'язкого злому не можна судити про форму і розміри зерен металу - вони витягуються.

*Волокнистий злам* є результатом в'язкого руйнування, яке супроводжується значною пластичною деформацією зерен. Він має характерну волокнисту будову, колір – тьмяний (рис. 2.7). За волокнистим зломом не можна судити про внутрішню будову, оскільки не виявляється форма і розмір зерна.

Отримання в'язкого або крихкого зламу на одному і тому ж матеріалі не завжди свідчить про структурні відмінності. Один і той же матеріал в одному і тому ж структурному стані може, в залежності від умов навантаження (температура, швидкість, накладання навантаження, характер напруженого стану), виявити в'язке або крихке руйнування і, отже, волокнистий або кристалічний злам.

*Втомленісний злам* (рис. 2.8) є ознакою втомленісного руйнування деталей, яке відбувається під дією знакозмінних напруг. Злам має три

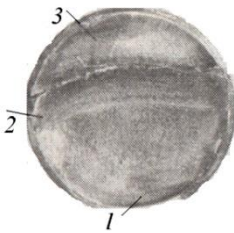
зони: 1 - ядро (тріщина, пора, неметалічне вкраплення); 2 - зона втоми, яка має ступінчасто-складчасту будову з окремими ділянками блискучої поверхні; 3 - зона залишкового руйнування (доломлювання), яке може бути крихким або в'язким (залежно від умов впливу напруг на кінцевій стадії руйнування, будови і властивостей металу).



*Рис.2.6. В'язкий злам*



*Рис.2.6. Волокнистий злам*



*Рис.2.5. Втомленісний злам*

## **2.2. Завдання на роботу.**

1. Ознайомитися з методикою приготування макрошліфів.
2. Дослідити і зарисувати макроструктуру макрошліфів із хімічною неоднорідністю (зварні з'єднання, деталі, зміцнені термічною обробкою), деталей, виготовлених різанням і обробкою тиском.
3. Оцінити ліквацію на макрошліфі згідно з методом Баумана.
4. Вивчити і зарисувати основні види зламів (в'язкий, крихкий, від втоми).
5. Дослідити волокнисту будову заданих деталей. Визначити характер їх обробки.
6. Зробити висновки і скласти звіт по роботі

## **Контрольні запитання**

1. Що таке макроаналіз? 2. Що таке макрошліф і як його готують? 3. Які є види макроаналізу? 4. В чому полягає відмінність у макрошліфах

деталей виготовлених обробкою тиском та різанням? 5. Що таке волокна в металі? 6. Що таке ліквация? 7. Що таке червоноламкість і холодноламкість? 8. Як визначають глибину поверхневої термічної обробки сталі? 9. Що таке злам? 10. Які є види зламів?

*Лабораторна робота № 3*  
**ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ**  
**ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ**

**Мета роботи:** отримати практичні навички мікроструктурного дослідження сталей і чавунів.

**Забезпечення роботи:** набір зразків, мікроскоп металографічний, реактиви, плакати

### **3.1. Теоретичні відомості**

Властивості металів, які застосовуються у техніці, визначаються їхньою внутрішньою будовою (структурою), яка змінюється під впливом різних за природою зовнішніх енергетичних полів (механічних, теплових, променевих, радіаційних, електромагнітних) і хімічного складу сплаву. Важливу інформацію про будову матеріалу дає *мікроструктурний аналіз* - дослідження будови металів при великому (більше 30) збільшенні. Досліджувану будову називають *мікроструктурою*.

Основними задачами мікроаналізу є: визначення форми і розмірів зерен; визначення форми, розмірів і взаємного розташування структурних складових сплаву; виявлення мікротріщин і включень (сульфідів, оксидів, нітридів); визначення хімічного складу деяких фаз за їхньою формою і кольором.

Підготовлену для дослідження мікроструктури поверхню зразка називають *мікрошліфом*. Зразок повинен мати форму куба чи циліндра з розміром сторони або діаметра не більше 20 мм. Зразки менших розмірів або неправильної геометричної форми заливають епоксидними смолами чи легкоплавкими сплавами у контейнери

Приготування мікрошліфів - відповідальна операція, адже неправильне виконання технологічних операцій може спотворити мікроструктуру металу.

Зразок шліфують на спеціальному металографічному шліфувальному папері, змінюючи розміри абразивних часток від 320... 250 мкм до 20...14 мкм. При переході з паперу одного номера на інший потрібно змінювати напрям шліфування – перпендикулярно до рисок від попереднього номера паперу – до тих пір, поки риски не зникнуть. Поліруванням видаляють найдрібніші дефекти поверхні, які залишилися після шліфування.

На практиці найчастіше використовують механічне полірування, яке виконують кругом, покритим фетром, тонким сукном, оксамитом. Як

полірувальна рідина, використовують водяні суспензії оксидів алюмінію, хрому, магнію ( $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $MgO$ ), якими змочують поверхню круга. Полірування закінчують, якщо поверхня зразка має дзеркальний блиск і під мікроскопом при 100-кратному збільшенні не помітні риси. Після цього мікрошліф промивають (водою і спиртом) і прошують фільтрувальним папером.

Заключна операція – травлення мікрошліфа, адже на нетравленій поверхні можна помітити лише неметалеві включення.

Травильними розчинами, які використовують для виявлення мікроструктури, є електроліти - водні чи спиртові розчини солей, лугів, кислот. Структурні складові (фази) сплаву, які мають найбільший від'ємний електродний потенціал, відіграють роль мікроскопічних анодів і розчиняються, утворюючи впадини на мікрошліфі, а ділянки, які є катодами, не розчиняються, утворюючи виступи. Таким чином, травлення викликає утворення мікрорельєфа, який сприяє дифракції світла при дослідженні під мікроскопом (рис.3.1).

Для травлення сталей і чавунів найчастіше використовують розчини:

- 4...5%-ний спиртовий розчин  $HNO_3$ ;
- 4%-нй спиртовий розчин пікрінової кислоти;
- 3 частини  $HCl$  і 1 частина  $HNO_3$  - для нержавіючих сталей;
- 20 мл концентрованої  $HCl$ , 5 г  $CuSO_4$  і 20 мл  $H_2O$  - для жароміцних сталей.

Для мікроаналізу сплавів використовують металографічні мікроскопи, у яких зображення структури – це інтерференційна картина відбитих від поверхні шліфа променів (рис. 3.1).

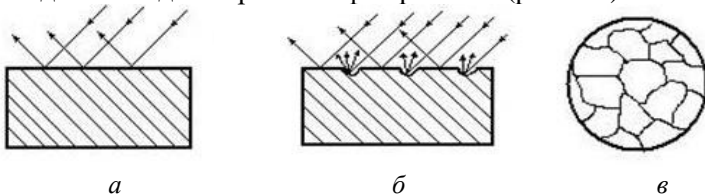


Рис.3.1. Схема відбивання променів від поверхні шліфа:

а – нетравленого, б – травленого, в – зображення структури

Практично збільшення мікроскопа визначають за формулою  $M = M_{об}M_{ок}$ , де  $M_{об}$  - збільшення об'єктива;  $M_{ок}$  - збільшення окуляра.

**Нетравлений стан.** Під мікроскопом шліф має вигляд світлого кола з темними ділянками - неметалічні включення чи мікротріщини. Оксиди, сульфіді, нітриди і силікати мають характерну форму, обумовлену їхньою кристалічною будовою і властивостями. При

гарячій пластичній деформації вони дробляться або витягаються. Тверді і крихкі оксиди  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $SiO_2$  мають неправильну форму (рис.3.2, а), легко викришуються, залишаючи характерні "хвости" на мікрошліфі. Пластичні сульфіди  $FeS$ ,  $MnS$ , деякі силікати витягаються (рис.3.2, б) у напрямку дії сил. У сірих, ковких і високоміцних чавунах темні включення вказують на графіт (рис.3.2, в).

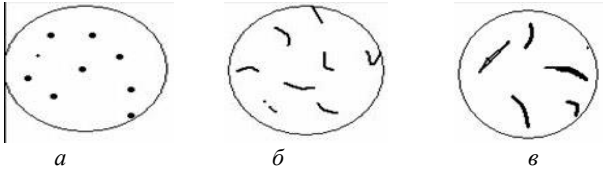


Рис. 3.2. Неметалеві вкраплення в сталі та чавуні:

а – оксиди; б – сульфіди; в – графіт

**Травлений стан.** У мікроскопі формується зображення мікроструктури: межа зерен в однофазних сплавах і окремі структурні складові у багатофазних сплавах.

За структурою сталі, що знаходиться в рівноважному стані, можна приблизно визначити вміст вуглецю, і, таким чином, марку сталі. Для цього на мікроструктурі, що вивчається, орієнтовно визначають площі, які займають ферит (Ф), перліт (П) і цементит (Ц). А кількість вуглецю визначається за формулою:

$$\% C = (0,02 \Phi + 0,8 \Pi + 6,67 \Psi) / 100$$

Визначити марку заевтектоїдної сталі за такою методикою складно, оскільки навіть приблизно визначити площу цементитної сітки практично неможливо.

### 3.1.2. Класифікація вуглецевих сталей

Вуглецеві сталі класифікують за структурою у рівноважному стані, вмістом вуглецю, ступенем розкислення, якістю і призначенням.

За структурою вуглецеві сталі поділяють на доевтектоїдні, евтектоїдну і заевтектоїдні. *Доевтектоїдними* називаються сталі, що містять від 0,02 до 0,8 % С і мають у структурі ферит та перліт. *Евтектоїдна* – сталь, яка містить 0,8 % С і має перлітну структуру. *Заевтектоїдними* називаються сталі, що містять від 0,8 до 2,14 % С і мають у структурі перліт і цементит вторинний.

За вмістом вуглецю сталі поділяють на низько- (<0,3%С), середньо- (0,3 < С < 0,7%) та високовуглецеві (>0,7%С).

За якістю сталі бувають звичайної якості, якісні та високоякісні. Основним показником якості є вміст сірки та фосфору в сталі. Сталі



звичайної якості містять до 0,06 % S і 0,07 % P, якісні – до 0,04 % S і 0,035 % P, високоякісні – до 0,025 % S і P.

За ступенем розкислення сталі поділяють на киплячі ( $S_i < 0,07$  %), напівспокійні ( $0,07 < S_i < 0,17$  %) та спокійні ( $0,17 < S_i < 0,37$  %).

За призначенням вуглецеві сталі поділяють на конструкційні та інструментальні.

### 3.1.3. Класифікація чавунів

Чавуни, в залежності від форми вуглецю в них, поділяють на білі, сірі, високоміцні та ковкі.

*У білих чавунів* весь вуглець знаходиться в зв'язаному стані у вигляді цементиту чи інших карбідів. Злам таких чавунів має матово-білий колір. Білі чавуни в залежності від вмісту вуглецю поділяються на доевтектичні, евтектичні та заевтектичні. *Доевтектичними* називають чавуни, які містять від 2,14 до 4,3 % C, їх структура - перліт, цементит вторинний і ледебурит. *Евтектичні* чавуни – це чавуни, які містять 4,3 % C, структурною складовою яких є тільки ледебурит. *Заевтектичними* називають чавуни, які містять від 4,3 до 6,67 % C і структура яких складається з ледебуриту та цементиту первинного. Білі чавуни мають високу твердість (*HB* 4500...5500) та крихкість, тому для деталей машин їх не використовують.

У сірих, високоміцних і ковких чавунах вуглець частково чи повністю знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, який надає зламу цих чавунів сірий колір і тому вони називаються сірими.

Структура сірих, високоміцних і ковких чавунів складається з металічної основи і графіту різної форми – пластинчастої, кулястої та пластівцевої. Чавуни, в яких графіт має пластинчасту форму, називаються звичайними сірими, кулясту форму – високоміцними, пластівцеву форму – ковкими.

Графіт має низькі механічні властивості і тому можна вважати, що місця, які він займає – це пустоти в металі. Пластинчаста форма найбільше послаблює металічну основу, виступаючи концентраторами напруг. Кулястий графіт є менш сильним концентратором напруг, ніж пластинчастий графіт. Тому чавуни з кулястим графітом мають вищу міцність і деяку пластичність. Пластівцева форма є проміжною між пластинчастою і кулястою формами і, відповідно, ковкі чавуни мають значення механічних властивостей проміжні між властивостями сірих і високоміцних чавунів.

Сірі, високоміцні та ковкі чавуни за структурою металічної основи поділяють на феритні, феритно-перлітні та перлітні. Структура

феритних чавунів складається із феритної основи і включень графіту, феритно-перлітних чавунів – із феритно-перлітної основи і графіту, перлітних чавунів – із перліту і графіту. Феритні чавуни мають найнижчу міцність і найвищу пластичність і, навпаки, перлітні чавуни – найвищу міцність і найнижчу пластичність.

### 3.2. Завдання на роботу.

1. Розглянути фази та структурні складові сплавів діаграми стану залізо-цементит, та їхні характеристики.
2. Вивчити класифікацію і маркування сталей і чавунів.
3. Приготувати мікрошліфи сталей і чавунів
4. Провести дослідження мікроструктури вуглецевих сталей за допомогою металографічного мікроскопа. Використовуючи альбоми мікроструктур визначити структурні складові і зарисувати їх структури.
5. Визначити орієнтовно вміст вуглецю в зразках і марку сталі
6. Отримані результати оформити у вигляді табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

#### Результати дослідження мікроструктури вуглецевих сталей

Мікроструктура	Вміст структурних складових, %			Вміст С, %	Марка	Призначення
	Ф	П	Ц			

7. Провести дослідження мікроструктури білих, сірих, високоміцних і ковких чавунів до і після травлення. Визначити структурні складові і чавуну (білий, сірий, ковкий, високоміцний).
8. Зарисувати схеми мікроструктур.
9. Записати приблизну марку чавуну.
10. Результати дослідження оформити у вигляді табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

### Результати дослідження мікроструктури чавунів

Мікроструктура		Структурні складові					Форма графіту	Марка
до	після	Ф	П	Ц	Л	Г		
травлення								

### Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте мікроаналіз металів. 2. Що таке мікрошліф і як його готують? 3. Призначення металографічних мікроскопів. 4. Які елементи структури можна визначити на нетравленій поверхні шліфа? 5. Охарактеризуйте фази, які утворюються в системі залізо-цементит? 6. Як поділяють сталі за вмістом вуглецю? 7. Як класифікують сталі за якістю? 8. Як поділяють вуглецеві сталі за призначенням? 9. Як позначають сталі звичайної якості, якісні конструкційні й інструментальні сталі? 10. Охарактеризуйте види чавунів. 11. Як маркують сірі, високоміцні та ковкі чавуни?

Лабораторна робота № 4  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА  
СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ**

**Мета роботи:** Вивчити вплив основних видів термічної обробки на структуру і механічні властивості вуглецевої сталі.

**Забезпечення роботи:** печі муфельні; зразки вуглецевих сталей; твердомір Роквелла; альбом структур, довідкові таблиці.

#### **4.1. Теоретичні відомості**

Термічна обробка (ТО) служить для зміни структури і властивостей сталі.

**Відпалювання.** Залежно від того, нагрівають сталь нижче чи вище температур фазових перетворень у твердому стані, розрізняють відпалювання I роду (рекристалізаційне, для зняття залишкових напруг, дифузійне) і II роду (повне чи неповне).

*Рекристалізаційне відпалювання* застосовують для зняття наклепу сталі після її холодної обробки тиском (прокатування, волочіння, штампування). Сталь нагрівають вище температури рекристалізації, витримують при ній і охолоджують на повітрі.

*Відпалювання для зняття внутрішніх напруг* призначене для зменшення або зняття у виробках шкідливих напруг розтягу. Його виконують при невисокій температурі після різних технологічних операцій (зварювання, лиття тощо).

*Дифузійне відпалювання* застосовують для великих виливків з легованих сталей для усунення дендритної ліквіації. Сталь нагрівають до 1000...1150 °С, витримують 12...15 год і повільно охолоджують у печі.

*Повне відпалювання* служить для отримання дрібнозернистої структури в доєвтектоїдній сталі. Температуру нагрівання вибирають за діаграмою стану  $Fe - Fe_3C$  вище точки  $A_{c3}$  на 30...50 °С (рис.4.1). При повільному охолодженні разом з піччю аустеніт розпадається з утворенням дрібнозернистої структури перліту і фериту.

*Неповне відпалювання* застосовують для отримання дрібнозернистої структури в заєвтектоїдній сталі. Сталь нагрівають до температури, на 30...50 °С вище точки  $A_{c1}$ , а потім повільно охолоджують. При цьому аустеніт перетворюється в перліт, а вторинний цементит залишається без зміни.

Для отримання зернистого цементиту заєвтектоїдну сталь піддають *сфероутворюючому відпалюванню*: нагрівають вище точки  $A_{c1}$ ,

втримують і потім повільно охолоджують - спочатку до температури точки  $A_{c1}$ , а потім на повітрі. У сталі, поряд з аустенітом, зберігається велике число часток, які не розчинилися, що сприяє утворенню зернистої форми цементиту.

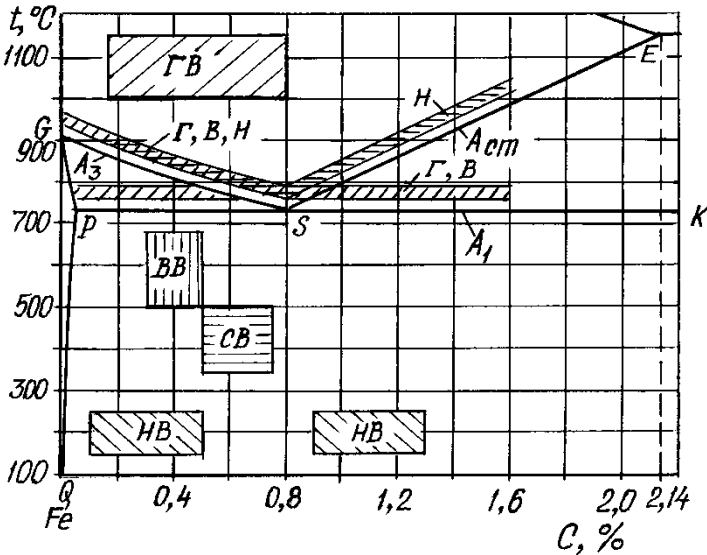


Рис.4.1. Температурні інтервали нагрівання сталі для різних видів ТО: Г – гартування, В – відпалювання, Н – нормалізація, ВВ, СВ і НВ – високе, середнє і низьке відпускання, ГВ – гомогенізаційне відпалювання

Ці види відпалювання проводять з безперервним охолодженням. При відпалюванні з витримкою при постійній температурі (ізотермічне відпалювання) сталь нагрівають, як і при звичайному відпалюванні (доевтектоїдну - вище точки  $A_{c3}$ , заевтектоїдну - вище точки  $A_{c1}$  на  $20...30^\circ\text{C}$ ), потім швидко охолоджують до температури нижче точки  $A_{c1}$  на  $20...100^\circ\text{C}$  і витримують при ній; при цьому відбувається перетворення аустеніта в перліт. Далі сталь охолоджують на повітрі.

**Нормалізація** служить для отримання дрібнозернистої структури в доевтектоїдних сталях, зняття внутрішніх напруг і наклепу, отримання однорідної структури перед завершальною ТО, холодною обробкою тиском або обробкою різанням.

Для низьковуглецевих сталей нормалізація часто замінює повне відпалювання, для середньовуглецевих і легованих сталей - гартування з наступним відпусканням. При нормалізації доевтектоїдну сталь нагрівають до температури вище точки  $A_{c3}$ , а заевтектоїдну - вище точки  $A_{c1}$  на  $30...50^\circ\text{C}$ , а потім охолоджують на повітрі.

**Гартування** служить для надання металу високої твердості і міцності шляхом утворення нерівноважної структури - мартенсита.

Залежно від товщини загартованого шару розрізняють об'ємне і поверхнєве гартування. Об'ємне гартування провадиться в печах і ванних, а поверхнєве - струмами високої частоти, газовим полум'ям чи в електролітах.

Температуру нагрівання для гартування для вуглецевих сталей вибирають за діаграмою стану  $Fe - Fe_3C$ . Доевтектоїдну сталь нагрівають до температур вище точки  $A_{c3}$ , а заевтектоїдну - вище  $A_{c1}$  на 30...50 °С. Витримку при нагріванні вибирають залежно від розмірів виробів й об'єму завантаженого в піч металу. Після витримки вироби охолоджують у гартувальних середовищах, які забезпечують задану швидкість охолодження. Такими середовищами є вода, мінеральні масла, розчин їдкою натрію, розплавлені солі, луги і метали, емульсії тощо. Основна вимога до них - висока охолоджувальна спроможність в інтервалі температур 650...550 °С і низька - при 300...200 °С (це зменшує внутрішні термічні напруги).

Основними технологічними властивостями при гартуванні є *загартовуваність* - здатність сталі до підвищення твердості при гартуванні та *прогартуваність* - здатність гартуватися на певну глибину. За глибину гартування приймають віддаль від поверхні виробу до шару з структурою 50% мартенситу і 50% трооститу.

При швидкому охолодженні у сталі виникають тріщини і деформації. Дефектами гартування також є м'які плями, знижені твердість і міцність, знеуглецьовування, окислювання тощо. Уникнути дефектів або їх зменшити можна застосуванням різних видів гартування і правильним вибором їх режимів.

**Відпускання** служить для зняття внутрішніх напруг, які виникли в гартованій сталі, і одержання заданих структур і механічних властивостей. Цей вид ТО є важливою операцією, яка формує структуру і властивості сталі і визначає її подальшу експлуатацію. При відпусканні сталі нагрівають нижче точки  $A_{c1}$  (рис. 5.1), витримують і охолоджують. Розрізняють низьке, середнє і високе відпускання.

*Низьке відпускання* (температура нагрівання 150...250 °С) застосовують для вуглецевих і легованих інструментальних сталей, для яких необхідні високі твердість ( $HRC$  59...63) і зносостійкість. Після низького відпускання сталь має структуру відпущеного мартенсита. *Середнє відпускання* (350...500 °С) застосовують для пружинно-ресорних сталей. Сталь отримує структуру троостита відпускання, яка

має достатньо високу твердість (*HRC* 44...54) при високій пружності. *Високе відпускання* характеризується температурою 500...680 °С і структурою сорбіта відпускання. Подвійна термічна обробка - гартування+високе відпускання – має назву *поліпшення*. Воно забезпечує найбільш сприятливе поєднання механічних властивостей - високі в'язкість і пластичність з достатньою міцністю.

Важливим чинником є час витримки - чим вища температура відпускання, тим час витримки менший, а ось швидкість охолодження великого значення не має.

## **4.2. Завдання на роботу.**

### **4.2.1. Відпускання сталі**

1. Загартовані у маслі зразки помістити у піч, нагріти до температури 200 °С. Витримати зразки при цій температурі протягом 15 хвилин.

2. Витягнути один зразок і остудити його на повітрі.

3. Продовжувати нагрівання решти зразків до 400 °С і витримати їх протягом 10 хв.

4. Витягнути один зразок і охолодити його на повітрі.

5. Останній зразок нагріти до 600 °С, витримати і охолодити на повітрі.

6. Визначити твердість усіх зразків і за одержаними даними побудувати графік залежності твердості від температури відпускання.

7. Одержані результати записати у таблицю 4.1.

### **4.2.2. Гартування та відпалювання сталі**

1. За маркою сталі та ДСТУ визначити вміст вуглецю у зразках.

2. За діаграмою “залізо-цементит” визначити температури нагрівання для гартування і відпалювання. Встановити тривалість витримкування при вибраній температурі.

3. У піч помістити два зразки – один не гартований, другий – попередньо загартований.

4. Витримувати зразки у печі при заданій температурі протягом визначеного часу.

5. Після закінчення нагрівання перший зразок загартувати у воді, а другий – залишити у печі і вимкнути її живлення. Після її охолодження до кімнатної температури дістати зразок з печі.

6. Зразки витерти і торці зачистити шліфувальним папером. Виміряти твердість зразків за Роквеллом, отримані значення записати у таблицю 4.1.

5. Зробити висновки і скласти звіт.

Таблиця 4.1.

**Результати дослідження термічної обробки сталі**

Вид ТО	Сталь, вміст вуглецю, %	Параметри ТО			Фазовий склад		твердість	
		температура	час, хв	охолодження	до ТО	Після ТО	до ТО	після ТО

**Контрольні запитання**

1. Для чого служить термообробка сталей? 2. Охарактеризуйте види відпалювання. 3. Для чого служить нормалізація сталей? 4. Яка мета гартування сталей? 5. Як обирають температуру нагрівання при гартуванні? 6. Що таке загартовуваність і прогартовуваність сталей? 7. Які є гартувальні середовища? 8. Для чого застосовують низьке, середнє і високе відпускання?