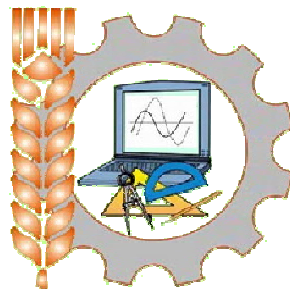


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**Кафедра
загальнотехнічних дисциплін**



МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Модуль №1 «Матеріалознавство»

Методичні рекомендації

до виконання практичних та самостійних робіт

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Молодший бакалавр»

початкового рівня (короткий цикл) спеціальності 208 «Агроінженерія»

денної форми навчання

**Миколаїв
2021**

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету, протокол №8 від 22.04.2021 р.

Укладачі:

Полянський П. М. – канд. екон. наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ.

Іванов Г. О. – канд. техн. наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ.

Степанов С. М. – ст. викладач кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ.

Баранова О. В. – асистент кафедри загальнотехнічних дисциплін МНАУ.

Рецензенти:

Атаманюк І.П. – д-р. техн. наук, професор, зав. кафедри вищої та прикладної математики МНАУ.

Гавриш В.І. – д-р. екон. наук, професор, зав. кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу МНАУ.

© Миколаївський національний аграрний
університет, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ	5
ВИПРОБУВАННЯ ТВЕРДОСТІ ЗА БРІНЕЛЕМ	6
ВИПРОБУВАННЯ ТВЕРДОСТІ ЗА РОКВЕЛЛОМ.....	11
ВИПРОБУВАННЯ ТВЕРДОСТІ ЗА ВІККЕРСОМ	15
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	20
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 МАКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ	21
Виявлення НЕОДНОРІДНОСТІ (ЛІКВАЦІЇ) СІРКИ.....	23
Виявлення ЛІКВАЦІЇ ФОСФОРУ	24
Виявлення БУДОВИ ЛИВАРНОЇ СТАЛІ.....	25
Виявлення ДЕФЕКТІВ ЗВАРНОГО ШВА ТА ВОЛОКНИСТОСТІ СТАЛІ	25
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	26
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ	27
КЛАСИФІКАЦІЯ СТАЛЕЙ.....	28
ЛЕГОВАНІ СТАЛІ	30
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	34
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4 ЧАВУНИ.....	35
КЛАСИФІКАЦІЯ ЧАВУНІВ	35
МАРКИ ЧАВУНІВ, ЇХ ОТРИМАННЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ.....	37
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	40
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 ВЛАСТИВОСТІ ТА ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ.....	41
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	49
ЛІТЕРАТУРА	52
Підрахунок РЕЙТИНГОВОЇ ОЦІНКИ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ ГРУПИ.....	54

ВСТУП

Матеріалознавство - наука, що вивчає внутрішню структуру і властивості металів та сплавів. До властивостей металів і сплавів відносяться механічні, наприклад, міцність, в'язкість і твердість; хімічні, наприклад, опір дії агресивного середовища; фізичні, наприклад, магнітні, електричні, об'ємні та теплові; технологічні, наприклад, в'язкотекучість, ковкість, оброблюваність ріжучим інструментом і прогартованість.

Матеріалознавство узагальнює і використовує величезний практичний досвід потужної мережі численних наукових і промислових лабораторій на основі сучасних досягнень фізики і фізичної хімії. Все це в поєднанні з широким застосуванням фізичних досліджень, наприклад, рентгеноструктурного і магнітного аналізу та електронної мікроскопії дозволило створити в металознавстві ряд передових теорій. Такі теорії послужили не тільки науковим обґрунтуванням існуючих технологічних процесів, але і повели до створення нових, посунувши вперед металургійне виробництво і машинобудування.

В сучасній техніці найбільше застосовуються сплави заліза, які найбільш доступні і дешеві - сталь і чавун; тому в курсі металознавства їм відводиться значне місце. Вивчення сплавів на основі заліза дозволяє легше вивчити структурні перетворення та трансформаційних зміни властивостей, що протікають набагато характерніше та яскравіше по відношенню до кольорових сплавів.

Сучасний інженер-механі повинен знати і вміти визначати основні механічні властивості, вміти вірно вибрати марку сплаву в залежності від подальшого використання. У методичних рекомендаціях даним питанням приділено увагу які передбачені програмою курсу «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів».

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ

Мета роботи: Ознайомитися з будовою та роботою автоматичного преса ТШ-2 - прилад Брінеля, приладом Роквелла і Віккерса. Засвоїти методику випробування металів і сплавів на твердість за методами Брінеля, Роквелла і Віккерса. Вивчити будову лупи та методику вимірювання отриманого відбитка, а також порядок визначення твердості за таблицею.

Прилади та матеріали: автоматичний важільний прес ТШ-2, прилад Роквелла; лупа для виміру діаметра відбитка; наждачне точило, терпуг; набір зразків з відпаленої (або нормалізованої) та загартованої сталі з різним вмістом вуглецю, зразки з чавуну.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Твердість є мірою опору впровадженого в поверхню іншого тіла (індентора). Виміром твердості можна не руйнуючи метал встановити його властивості міцності, визначити ефективність того чи іншого методу технологічної або термічної обробки. Серед існуючих методів випробування на твердість на виробництві найбільш широко застосовують випробування на твердість статичним втисненням у матеріал у стандартних умовах жорсткого індентора визначеної форми. Цей вид випробування охоплює широкий діапазон умов, з яких головними є форма індентора і навантаження, що прикладається.

Індентор повинен бути виготовлений з дуже твердого матеріалу і не деформуватися при випробуванні, тому в ролі індентора застосовується сталева загартована кулька, алмазна чотиригранна піраміда або алмазний конус.

Серед існуючих методів вимірювання твердості, що засновані на втискуванні індентора, дістали визнання: Брінеля, Роквелла, Віккерса.

Існування трьох принципово однакових методів пояснюється, головним чином, застосуванням кожного з них для різних діапазонів твердості.

Найбільш універсальним і точним є метод втискування алмазної чотиригранної піраміди. Він дозволяє проводити визначення твердості практично на всіх металах. Однак прилади, що працюють за цим методом, застосовуються в тому разі, коли виникає необхідність контролю твердості відповідальних деталей, а також за випробувань експериментального та дослідницького характеру. Тому у виробничій практиці частіше використовують методи втискування сталюї кульки та конуса.

Також існують і інші методи визначення твердості: за динамічним втискуванням поширені – метод пружного відскакування бойка (твердомір Шора), метод орієнтовного визначення твердості втискуванням кульки ударом (твердомір Польді); вимірюванням електроопору; коливанням маятника; дряпанням.

Твердість за Шором виражається в умовних одиницях, що відповідають висоті підйому бойка після удару в досліджувану поверхню з фіксованої

висоти його падіння. Твердомір Шора використовують для вимірювання твердості великогабаритних виробів, які не можна встановити на стаціонарні твердоміри.

Твердість на твердомірі Польді визначається орієнтовно за відбитками кульки, одержаними одночасно на еталонному зразку і поверхні випробуваної деталі за удару молотком по бойку твердоміра.

Метод дряпання – це нанесення подряпин на поверхні зразків індентором, що не деформується. Цей метод не стандартизований.

Твердість матеріалу безпосередньо пов'язана з границею міцності, тому, знаючи твердість сталі, можна визначити границю міцності: $\sigma_b = 0,36 \cdot HB$.

Випробування твердості за Брінелем

Для вимірювання твердості за Брінелем застосовують твердоміри типу ТШ та сучасні типу ТБ 5004 і ТБ 5004–01, в яких сталеві загартована кулька визначеного діаметра втискується у випробуваний матеріал під дією навантаження протягом певного проміжку часу (10, 30, 60 с).

Застосування у ролі індентора сталеві загартованої кульки обмежує діапазон, що вимірюється твердістю. Тому метод Брінеля може бути застосований для вимірювання твердості, яка не перевищує $HB = 450$ МПа.

Міра твердості за Брінелем (HB) є середнє значення напружень, що визначене в кгс/мм^2 (МПа), які отримують в результаті поділу величини випробувального навантаження P на площу кульової поверхні F утвореного відбитка. Схему випробування показано на рис. 1

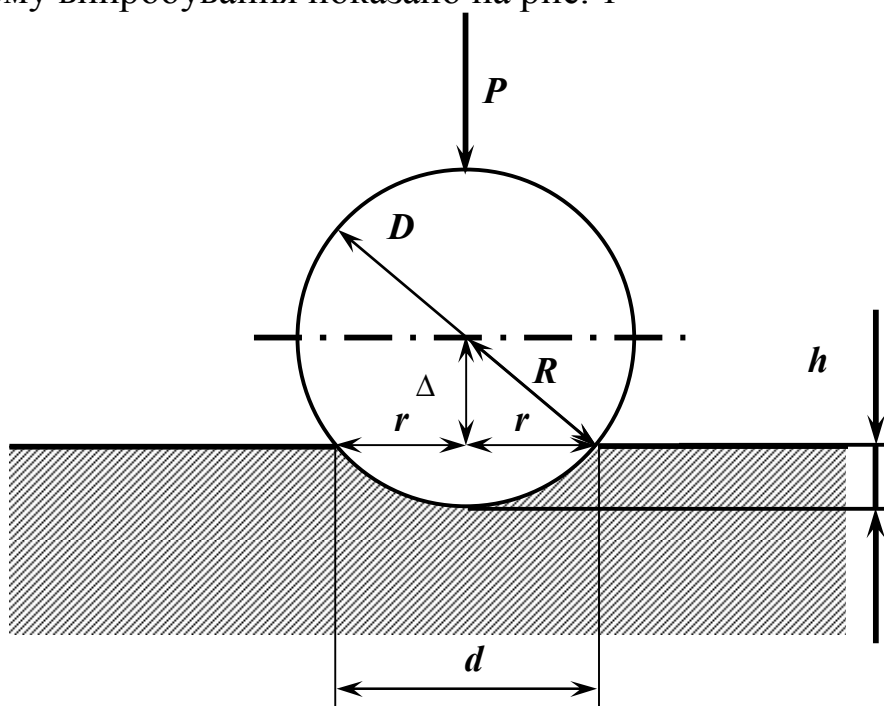


Рис. 1 Визначення твердості за Брінелем

Обчислення числа твердості виконується після виміру діаметра утвореного відбитка за формулою:

$$HB = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

де HB – твердість за Брінелем;
 P – навантаження в кгс;
 S – площа кулькової поверхні відбитка (сегмента) в мм².
 Площа поверхні кулькового сегмента:

$$S = \pi D h, \quad (2)$$

де D – діаметр кульки;
 h – глибина відбитка.

Зручніше вимірювати не глибину відбитка, а його діаметр - d . Тоді площа поверхні сегмента S , визначена через діаметр відбитка і діаметр кульки, дорівнює:

$$S = \frac{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}. \quad (3)$$

Підставляючи значення F в формулу (1), отримаємо:

$$HB = \frac{P}{S} = \frac{2 \cdot P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ кгс/мм}^2. \quad (4)$$

Для переведення числа твердості HB в систему СІ користуються коефіцієнтом $K=9,81 \cdot 10^6$, на який помножують значення твердості $HB_{ci}=HB \cdot K$ (МПа).

Зміна величини навантаження P впливає на число твердості, адже залежність між величиною навантаження і діаметром відбитка не є постійною. Тому вимірювання твердості на приладі виконують при постійному співвідношенні між величиною навантаження P та квадратом діаметра кульки

$$\frac{P}{D^2} = const.$$

Методика проведення випробування

Перед випробуванням поверхню зразка, в яку буде втискуватися кулька, обробляють терпугом або наждачним папером, щоб вона була рівною, гладенькою і щоб на ній не було окалини. При обробці поверхня не повинна нагріватися вище 100-150 °С. Щоб при втискуванні кульки не відбувалося прогинання матеріалу, товщина його повинна бути не менш десятикратної глибини відбитка. Виходячи із товщини матеріалу і його властивостей, вибирають діаметр кульки.

Для вибору потрібного навантаження на індентор, його діаметра та часу витримування під навантаженням індентора користуються таблицею 1.

При випробуванні зразків завтовшки менше 6 мм вибирають кульки з меншим діаметром (5 і 2,5 мм). Отриманий відбиток вимірюють мікроскопом у двох взаємно-перпендикулярних напрямках. Діаметр відбитка визначають як середнє арифметичне з двох вимірів з точністю до 0,05 мм.

Лупа (рис. 2, а) має шкалу (рис. 2, б), мала поділka якої дорівнює 0,1 мм і розташована на тубусі лупи.

Для вимірювання діаметра відбитка лупу нижньою опорною частиною потрібно щільно встановити на поверхню зразка, що випробовується, над відбитком, при цьому виріз (вікно) у нижній частині лупи повернути до світла.

Повертають окуляр так, щоб краї відбитка були добре окреслені, а шкалу було чітко видно. Потім, пересуваючи лупу, потрібно досягти, щоб один край відбитка збігався з початком шкали. Прораховують поділку шкали, з якою збігається протилежний край відбитка.

Таблиця 1.

Залежність діаметра кульки і навантаження від твердості і товщини випробувального матеріалу

Матеріал	Твердість за Брінелем	Мінімальна товщина вимірювального матеріалу	Співвідношення між навантаженням P і діаметром кульки D мм	Діаметр кульки D мм	Навантаження P на індентор, кН	Витримування під навантаженням, с
Чорні метали і сплави	130...450	6...3	$P=30 \cdot D^2$	10,0	29,420	10
		4...2		5,0	7,355	
		<2		2,5	1,960	
	<140	>6	$P=10 \cdot D^2$	10,0	9,807	10
		6...3		5,0	2,452	
Кольорові метали і сплави	>140		$P=30 \cdot D^2$	10,0	2,452	10
		>6		5,0	—	
				2,5	—	
	140...450	6...3	$P=10 \cdot D^2$	10,0	29,420	30
		4...2		5,0	7,355	
		<2		2,5	1,839	
	35...130	9...3	$P=2,5 \cdot D^2$	10,0	9,807	60
		6...3		5,0	2,452	

Потім лупу повертають на 90 градусів і виміряють відбиток вдруге. Середнє арифметичне записують у протокол випробувань. Розрахунок числового значення твердості за наведеною вище формулою - трудомісткий процес, тому користуються спеціальною таблицею 4, що складена на основі формули (4) і яка дає можливість за отриманим діаметром відбитка вираховувати значення твердості.

Твердість визначають твердоміром типу ТШ (рис. 3), що складається із станини 1, в нижній частині якої розміщений гвинт 2, зі змінними столиками для випробування зразків на твердість. Гвинт зі столиком переміщують вручну, обертаючи маховик 3. У верхній частині станини розміщений шпindel 6, в який вставляють наконечники із кульками різних діаметрів.

Навантаження на індентор здійснюється вантажем 9 через систему важелів 7 і 8. Комбінацію навантажень можна змінювати в межах: 1,847 (187,5); 2,452 (250); 7,350 (750); 9,80 (1000); 14,70 (1500); 29,40 (3000) кН (кгс).

Перед вимірюванням твердості зразок 4 ставлять на столик гвинта 2 і обертають маховик 5 гвинта 2, притискаючи зразок до індентора 5 доти, доки пружина шпинделя 6 не стиснеться повністю, створивши при цьому попереднє

навантаження 98 Н на індентор. Після цього, натиснувши на кнопку твердоміра, вмикається електродвигун 13 твердоміра, який через редуктор 12 приводить в обертальний рух кривошип 11. Від кривошипа опускається шатун 10, що звільняє важіль 8 і навантаження передається на шпindel 6 твердоміра з індентором 5, що вдавлюється в зразок 4. При подальшому обертанні кривошипа шатун піднімається і знімає навантаження на індентор, повернувши важіль 8 та вантаж 9 у вихідне положення. При цьому електродвигун 13 твердоміра автоматично вимикається.

Після зняття навантаження на індентор, знявши зразок із столика, вимірюють діаметр відбитка на поверхні зразка за допомогою лупи МПБ-2 (рис. 2, а) з градуйованою шкалою (рис. 2, б). Для цього потрібно край відбитка сумістити з початком шкали (нульовою поділкою). Прочитати поділку шкали, з якою збігається протилежний край відбитка, що відповідатиме розміру діаметра відбитка ($d = 3,2$ мм).

Рис. 2. Лупа МПБ-2 для вимірювання діаметра відбитка кульки: а – загальний вигляд у розрізі: 1 – окуляр; 2 – шкала; 3 – гайка; 4 – об'єктив; 5 – відбиток; 6 – джерело світла; б – схема вимірювання діаметра відбитка

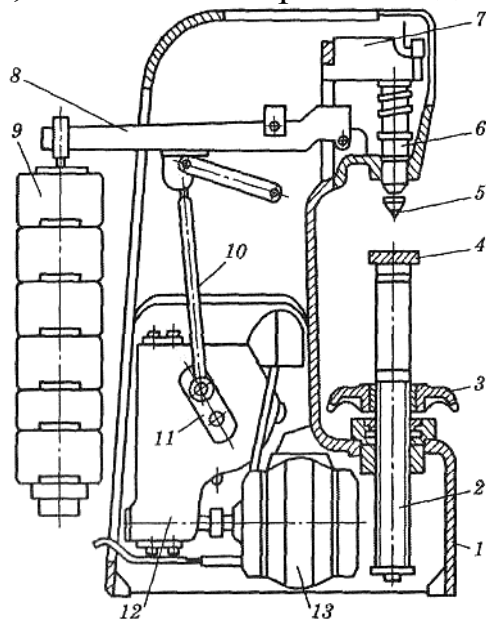
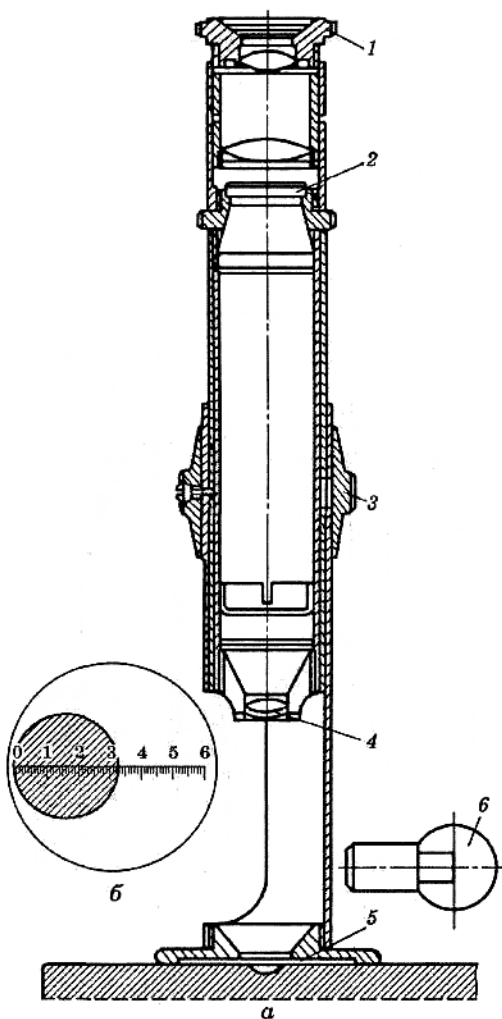


Рис. 3. Кінематична схема твердоміра Брінелля (типу ТШ)

На практиці твердість визначають за табл. 4, в якій наведено числа твердості залежно від діаметра відбитка.

Напівавтоматичний твердомір типу ТБ 5004 (рис. 4) використовують для вимірювання твердості в двох режимах.

Відповідно до методики вимірювання на твердомірі типу ТШ (ручний режим). На відміну від твердомірів типу ТШ твердоміри типу ТБ 5004 (табл. 2.) обладнані пультом керування 7 і вимірювальною головкою індикаторного типу 5, а для твердомірів типу ТБ 5004-01 – електронним блоком.

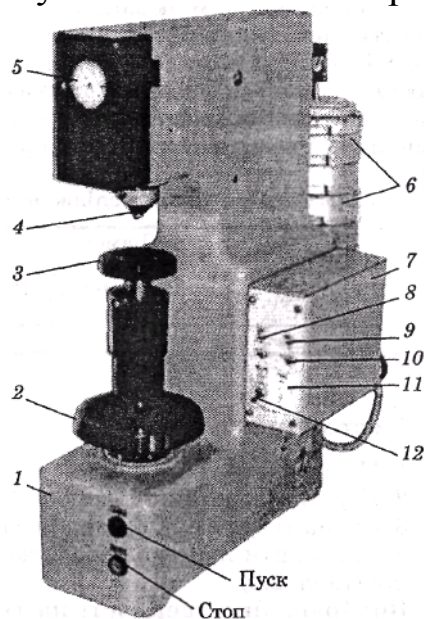


Рис. 4. Загальний вигляд твердоміра Брінелля типу ТБ 5004: 1 – корпус; 2 – маховик; 3 – предметний столик; 4 – індентор; 5 – індикаторна головка; 6 – вантаж; 7 – пульт керування; 8 – перемикач режиму «Робота»; 9 – перемикач режиму «Ручний»; 10 – контрольно-сигнальна лампочка; 11 – вимикач; 12 – вмикач

При ручному режимі після вмикання твердоміра в мережу вимикачем 11 перемикач 8 ставлять у положення «Робота», а перемикачем 9 встановлюють режим роботи «Ручний». Натискають на кнопку «Пуск», після чого включається в роботу привід навантаження, що через систему важелів забезпечує прикладання навантаження індентор 4. При цьому загоряється контрольна лампочка 10, як і на твердомірі типу живлення ТШ, усі дії відбуваються автоматично до моменту вимкнення електродвигуна твердоміра.

При автоматичному режимі розбракування на групи твердості на твердомірі типу ТБ 5004-01 здійснюють таким чином. Спочатку вимірюють твердість зразка з відомою меншою твердістю в положенні зупинення стрілки індикатора (сигнальна лампочка «Витримка» гасне). Фіксують показчик «Менше». На зразку з відомою більшою твердістю аналогічно фіксують показчик «Більше». Після цього випробовують зразки з невідомою твердістю, фіксуючи положення стрілки індикатора в момент її зупинення при знятті навантаження на індентор. Якщо стрілка зупиняється між показчиками «Більше» і «Менше», то твердість випробовуваних зразків відповідає показчику «Норма».

До недоліків вимірювання твердості на твердомірі Брінеля належать: неможливість випробування сплавів з твердістю понад 450 НВ, оскільки сталева куля – індентор буде деформуватися, даючи неточні показники твердості; неможливість випробування твердості тонких зразків (менше ніж 2

мм); після випробування залишаються помітні сліди на поверхні виробів.

Випробування твердості за Роквеллом

За Брінелем неможливо випробовувати загартовану сталь, яка має твердість більше 400-450 НВ, тому що буде деформуватися кулька і результати випробувань будуть неточними. Також не можна випробувати зразки після хіміко-термічної обробки (азотування, цементация та ін.). В таких випадках для вимірювання твердості застосовують метод Роквелла (ТК2). На цьому твердомірі твердість вимірюють за трьома шкалами (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристика шкал твердоміра Роквелла

Шкала	Позначення чисел твердості	Індентор	Навантаження на індентор, кН (кгс)	Границя вимірювання в одиницях твердості	Випробувальні матеріали
А	HRA	Алмазний конус	0,59 (60)	70...85	Твердосплавні матеріали
В	HRB	Кулька D=1/16"	0,98 (100)	25...100	Сплави в знеміцненому стані
С	HRC	Алмазний конус	1,47 (150)	20...67	Сплави в зміцненому стані

Основне навантаження становить 900 Н – для кульки (шкала В), 1400 Н – для алмазного конуса (шкала С) і 500 Н – для алмазного конуса при випробуванні дуже твердих та більш тонких матеріалів (шкала А).

Сутність цього методу полягає в тому, що у зразок, який випробовується, втискується алмазний конус з кутом при вершині 120 градусів і радіусом закруглення вершини 0,2 мм – для твердих металів і сталевих загартованих кульок діаметром 1,59 мм (1/16") – для м'яких. На приладі Роквелла вимірюється не діаметр відбитка, а різниця між глибинами відбитка h , отриманого від втискування наконечника або кульки під загальним (попереднє + основне) та попереднім навантаженнями (рис. 5).

Загальний вигляд твердоміра Роквелла зображено на рис. 6, а, а його кінематичну схему – на рис. 6, б.

У верхній частині станини твердоміра розміщено шпindel 1, в якому за допомогою гвинта 4 закріплюють оправку 5 з індентором (сталевий конус або алмазний конус). Постійний вантаж 16 створює навантаження на індентор 0,59 кН. Якщо на постійний вантаж 16 поставити вантаж 17, то буде створено навантаження 0,98 кН. Якщо збільшити вантаж 18 (0,59 кН), то загальне максимальне навантаження на індентор досягне 1,47 кН (див. табл. 2).

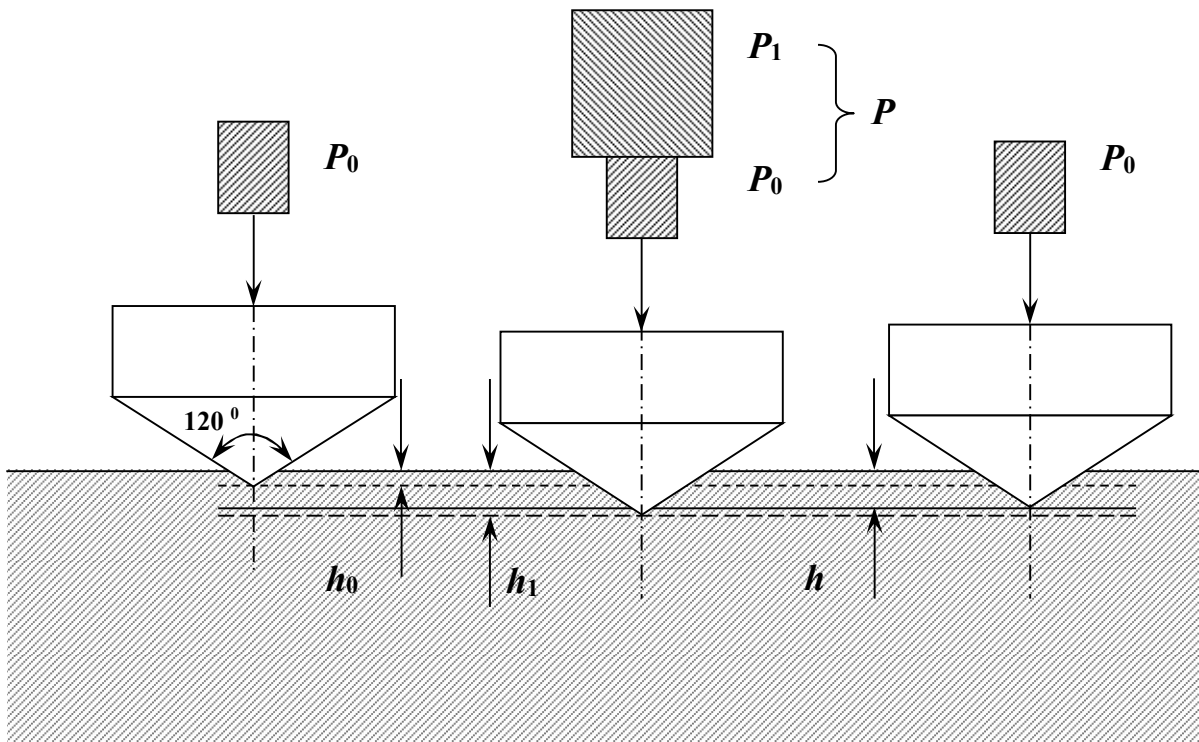


Рис. 5. Схема визначення твердості за Роквеллом

Стіл 7 призначений для розміщення на ньому випробувального зразка 6. При обертанні за ходом годинникової стрілки маховика 8 в рух приводиться гвинт 11, який, переміщуючись угору, піднімає стіл 7 із зразком 6, підводячи його до індентора. За подальшого обертання маховика 8 стискується пружина 2 шпинделя 1, кулька або алмазний конус починає втискуватися у зразок 6 і при цьому стрілки головки індикатора 22 обертаються в протилежні боки. Маховик 8 обертають доти, доки мала стрілка 1 (рис. 7, а) індикатора не дійде до червоної точки 2, а велика стрілка 3 не займе приблизно вертикальне положення (з похибкою ± 5 поділок пікали індикатора) (рис. 7, б), що створить попереднє навантаження 0,098 кН.

Точне виставлення шкали індикатора на нуль (рис. 7, в) виконують за допомогою барабана 9 (див. рис. 6,б) тросиком 21, закріпленим на індикаторі 22.

Незалежно від того, який індентор вдавлюється у зразок (деталь), велика стрілка індикатора має суміщатися з нулем чорної шкали «О».

Основне навантаження на індентор приводиться в дію за допомогою приводу 14 від електродвигуна твердоміра. Натисканням на клавішу 10 через кронштейн 12 приводять у дію кулачковий блок 15 механізму приводу 14, передача від якого до вантажного важеля 20 здійснюється за допомогою штока 13. При цьому підвіска 13 з вантажами 16-18 опускається, створюючи основне навантаження на індентор 3 через важіль 20. Під дією основного навантаження індентор вдавлюється у випробувальний зразок (деталь) 6. При цьому велика стрілка індикатора обертається проти ходу годинникової стрілки (рис. 7, г). Після зупинення стрілки основне навантаження, що діяло на зразок, автоматично знімається і велика стрілка індикатора, обертаючись за ходом

годинникової стрілки, показує за шкалою індикатора число твердості 61 HRC або 91 HRB (рис. 7, д).

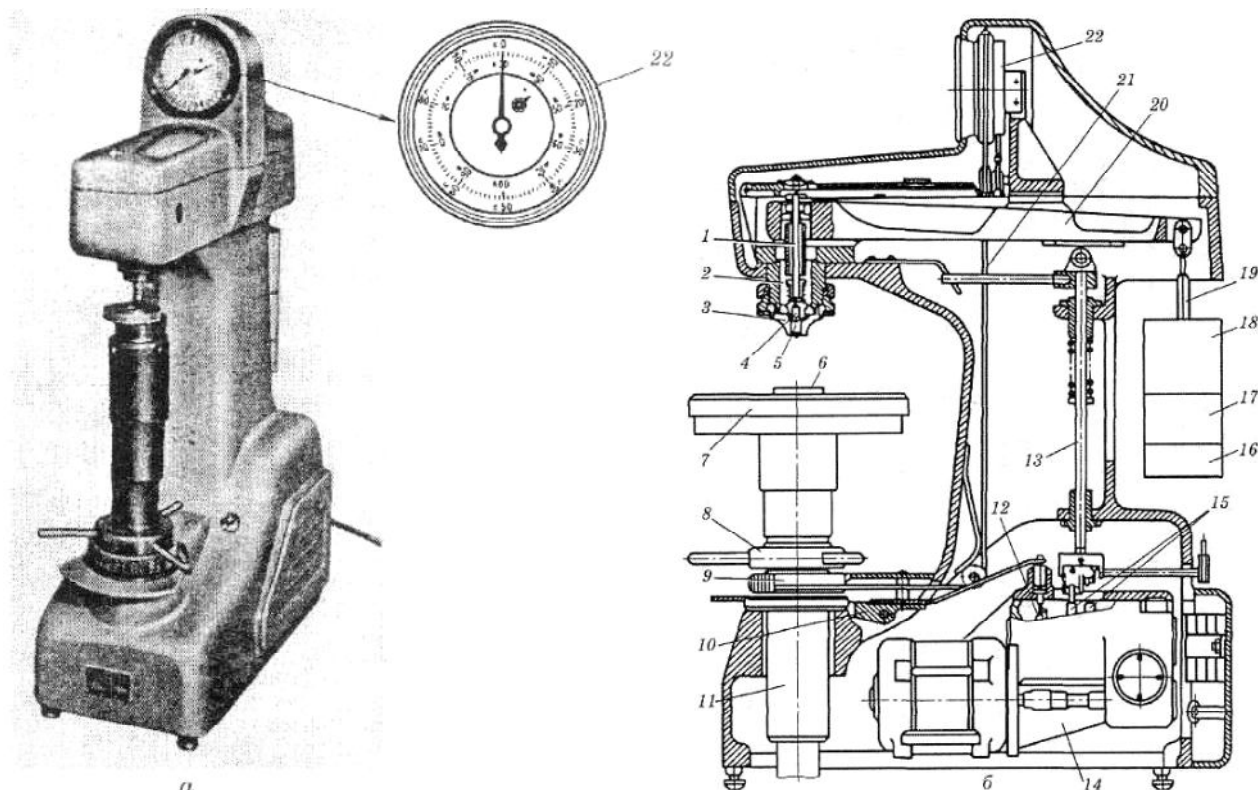


Рисунок 6. а – загальний вигляд твердоміра Роквелла; б – кінематична схема

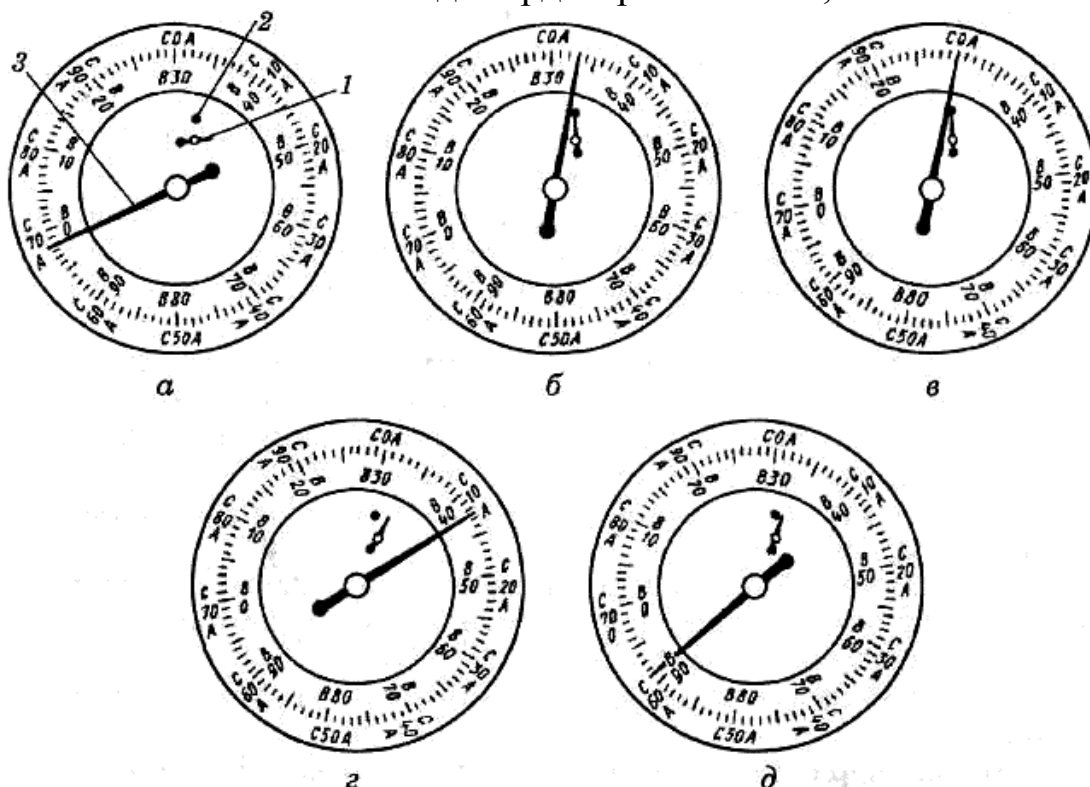


Рис. 7. Послідовне переміщення стрілок на циферблаті індикатора твердоміра Роквелла при вдавлюванні індентора

Після закінчення циклу випробування кулачковий блок автоматично вимикається і фіксується у вихідному положенні.

Для вимірювання твердості підбирають зразки із плоскими і паралельними поверхнями без будь-яких дефектів (окалина, бруд, різні покриття,

раковини тощо).

Після цього здійснюють контроль правильних показань твердості за допомогою контрольних брусків, твердість яких відома. Якщо твердість за твердоміром не відповідає твердості контрольних брусків, то слід вводити відповідну поправку при вимірюванні твердості досліджуваних зразків.

Попереднє навантаження P_1 що дорівнює 100 Н, додається підйомником стола уверх із зразком, що випробовується, а основне навантаження P_2 здійснюється тиском вантажів зверху вниз через систему важелів приладу.

Загальне навантаження $P = P_1 + P_2$. За дії сили P_1 наконечник втискується на глибину h_0 , а після прикладення сили $P_1 + P_2$ на глибину h_1 . Після зняття сили P_2 метал виштовхне наконечник на глибину h . Висота $H = h - h_0$, і є мірою твердості за приладом Роквелла. Вимірювання глибин здійснюється спеціальним індикатором, що вмонтований у прилад.

Індикатор за рахунок прямого та зворотного ходу стрілки "вирішує" рівняння:

$$HRC = 100 - \frac{h - h_0}{0,002}, \quad (5).$$

де HRC – твердість за Роквеллом (шкала С); 100 – число поділок шкали індикатора; 0,002 – ціна поділки індикатора.

Стрілка індикатора показує твердість. Як видно, твердість за Роквеллом величина безрозмірна, яка є величиною зворотною глибині відбитка і вимірюється в умовних одиницях. За одиницю твердості прийнята величина, яка відповідає осьовому переміщенню наконечника 0,002 мм. Залежно від того, чим і при якому навантаженні відбувається випробування, тобто за якою шкалою – В, С або А, число твердості позначається HRB, HRC, HRA.

При випробуванні твердості за Роквеллом відбитки дуже малі і не пошкоджують поверхню деталі, випробування проводяться дуже швидко (30–60 секунд) і величина твердості читається по шкалі без будь-яких вимірювань та перерахунків.

Послідовність виконання роботи:

1. Залежно від матеріалу зразка вибрати індентор і навантаження (див. табл. 2).
2. Вставити у шпиндель твердоміра відповідний індентор.
3. Поставити зразок на стіл твердоміра.
4. Обертанням маховика 6 (див. рис. 6, б) за ходом годинникової стрілки обережно підняти предметний столик 7, поки зразок не доторкнеться до індентора, а стрілки індикатора не займуть вертикальне положення.
5. Обертанням барабана 9 встановити нульову поділку чорної шкали «О» навпроти кінця великої стрілки індикатора.
6. Повільним натискуванням на клавішу 10 ввімкнути привід механізму навантаження через кулачковий блок 15.
7. Після закінчення циклу навантаження зафіксувати твердість за шкалою індикатора.

8. Обертанням маховика проти ходу годинникової стрілки опустити предметний столик, перемістити зразок і повторити вимірювання в іншому місці зразка. Результати не менш як трьох вимірювань твердості записати в протокол.

9. Числа твердості за Роквеллом перевести на числа твердості за Брінелем і записати їх у протокол (табл. 3).

Випробування твердості за Віккерсом

Вимірювання мікротвердості. Вимірювання на мікротвердість

проводять для дрібних деталей, тонких стрічок, фольг, азотованих і ціанованих шарів, структурних складових сплавів, де неможливо використати твердоміри Брінеля, Роквелла та ін.

Мікротвердість визначають твердоміром ПМТ-5 (рис. 8), на корпусі якого 12 закріплюється предметний столик 15 і стоек 6, по якому гайкою 5 при послабленому гвинті 3 можна переміщувати кронштейн 4 з тубусом 18 мікроскопа. По напрямній у кінці кронштейна 4 обертанням гвинтів 1 (макроподача) і 2 (мікроподача) можна переміщувати (вгору – вниз) тубус 18. У верхній частині тубуса розміщено нахилену трубку з окуляром 19, а в нижній – об'єктив 16. До тубуса на кронштейні прикріплено механізм навантаження 7 з алмазним наконечником 9, який має вигляд чотиригранної алмазної піраміди з кутом при вершині 136° (рис. 9).

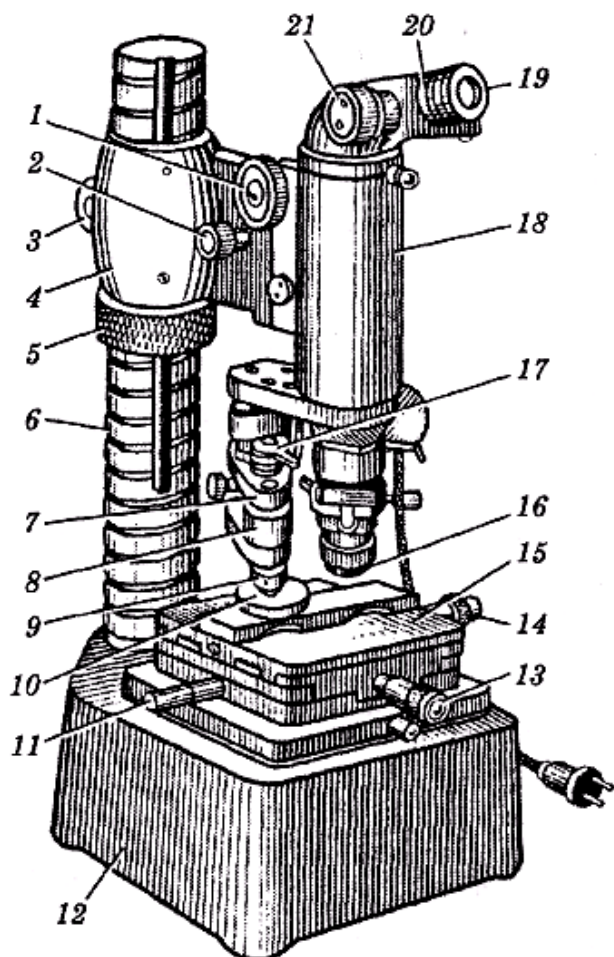


Рис. 8. Мікротвердомір ПМТ-5

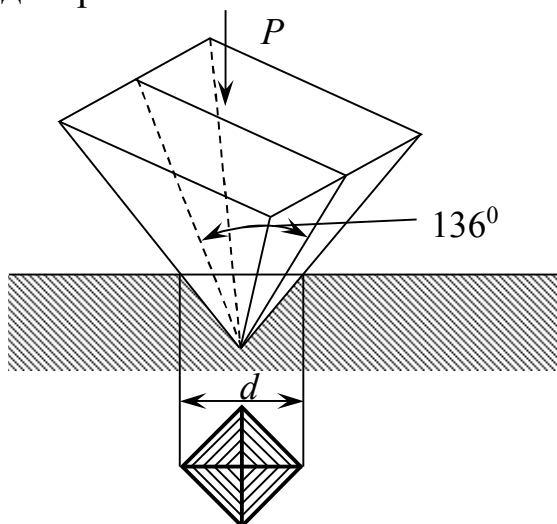


Рис. 9. Схема випробування твердості за Віккерсом

Верхню частину предметного столика 15 рукояткою 11 можна повертати навколо осі на 180° від одного упора до іншого. За допомогою гвинтів 13 і 14 предметний столик можна переміщувати в двох взаємно перпендикулярних напрямках (координатне переміщення). На столик 15 установлюють мікрошліф 10.

Для навантаження використовують спеціальні вантажі у формі шайб з вирізом, що мають різну масу (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 і 500 г). Алмазна піраміда 9 вдавлюється у зразок (мікрошліф) 10 під дією вантажу 8, що розміщується на штоці, при повороті рукоятки 17 на півоберта. Діагональ одержаного відбитка вимірюють окулярним мікрометром 20 і число твердості, кН/мм^2 , визначають за формулою

$$HV = \frac{1,8544 \cdot P}{d^2} \text{ кгс/мм}^2, \quad (6).$$

де P – навантаження на піраміду, кН (кгс); d – довжина діагоналі відбитка, що є середнім арифметичним довжини обох діагоналей відбитка (рис. 10), мм .

Навантаження може застосовуватися від 49 до 1170 Н.

Для вимірювання мікротвердості зразок (мікрошліф) 10 кладуть на предметний столик і за допомогою мікроскопа (окуляра 19 і об'єктива 16) вибирають місця для нанесення відбитка переміщення гвинтів 13 і 14 столика 15. Повертаючи столик на 180° навколо його вертикальної осі, рукояткою 11 підводять вибрані на шліфу місця під вершину алмазної піраміди і поворотом рукоятки 17 аретира вдавлюють у нього піраміду 9. Термін витримування під індентором становить 5 сек. Після цього індентор (піраміду) разом з вантажем піднімають у попереднє положення. Потім предметний столик повертають у зворотному напрямку на 180° доти, доки мікрошліф не стане під мікроскопом для вимірювання довжини діагоналі відбитка.

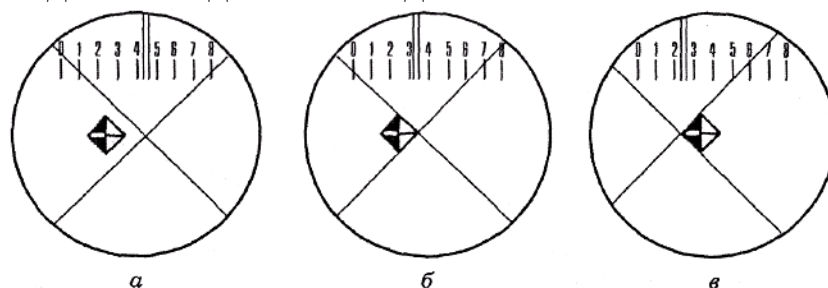


Рис. 10. Вимірювання довжини діагоналі відбитка окулярним мікрометром мікротвердоміра ПМТ-5

Порядок вимірювання довжини діагоналі відбитка:

1. Обертанням барабана 21 (рис. 8) окулярного мікрометра 20 лівий кут перехрестя в окулярі 19 підвести (справа наліво) до правого кута відбитка (рис. 10, а).

2. Зафіксувати положення подвійного штриха в окулярі (між якими цифрами шкали він розміщений). Цифра, що розміщена зліва від подвійного штриха, покаже сотні, до яких потрібно додати показання лімба барабана. Наприклад, подвійний штрих лежить між цифрами 3 і 4 (рис. 10, б), що відповідає числу 300, а на лімбі барабана – число 56, тоді сума дорівнює

$$300+56=356.$$

3. Обертанням барабана окулярного мікрометра правий кут перехрестя в окулярі підвести до лівого кута відбитка (рис. 10, в).

4. Провести відлік показання шкали і лімба барабана окулярного мікрометра, визначивши в окулярі, між якими цифрами розмістився подвійний штрих.

5. Від першого числа 356 відняти друге число 226 ($356 - 226 = 130$) і отримане число 130 відповідатиме довжині діагоналі відбитка.

6. Визначити довжину діагоналі відбитка в мікрометрах. Для цього отримане число 130 помножимо на ціну однієї поділки лімба барабана окулярного мікрометра (0,3 мкм) і дістанемо $130 \cdot 0,3 = 39$ мкм.

Щоб не вираховувати мікротвердість за формулою (6), користуються спеціальними таблицями (дод. 1), що розраховані на відповідні навантаження.

По закінченні експерименту заповнити протокол випробування на мікротвердість (табл. 3).

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ

1. Вивчити лекційний матеріал та методичні рекомендації до теми.
2. Вибрати індикатор і підрахувати навантаження відповідно до матеріалу, що випробовується.
3. Виміряти діаметр отриманого відбитка (при застосуванні метода Брінеля і визначити твердість за таблицею 4).
4. Визначити твердість за методом Роквелла.
5. Значення вибраного навантаження, форму індикатора, число твердості та матеріал, що випробовується, внести в таблицю протокола (за Брінелем) та таблицю (за Роквеллом) 3.
6. Заповнити таблицю 3.

Таблиця 3.

Протокол дослідження твердості на твердомірі Брінеля

Марка сталі	Навантаження на індентор, кН	Діаметр кульки індентора, мм	Твердість					
			HB	HRA	HRB	HRC	HV	HSh

Таблиця 4.

Співвідношення чисел твердості, визначених на різних твердомірах

Твердомір						
Брінеля		Роквелла			Віккерса	Шора
Індентор						
Діаметр відбитка, мм	Сталева куляка D=10мм	Алмазний конус	Кулька D=1/16"	Алмазний конус	Алмазна піраміда	Сталевий бойок
	HB	Шкала			HV	HSh
		HRA	HRB	HRC		
2,20	780	89	—	72	1224	99
2,25	745	87	—	70	1116	97
2,30	712	86	—	68	1022	95
2,35	682	85	—	66	941	93
2,40	653	84	—	64	868	88
2,45	627	83	—	62	804	85
2,50	601	82	—	60	746	81
2,55	578	81	—	58	694	78
2,60	555	79	—	56	649	75
2,65	534	78	—	54	606	72
2,70	514	77	—	52	587	70
2,75	495	76	—	50	551	68
2,80	477	76	—	49	534	66
2,85	461	75	—	48	502	64
2,90	444	74	—	46	473	61
2,95	429	73	—	45	460	59
3,00	415	72	—	44	435	57
3,02	409	72	—	43	423	55
3,05	401	71	—	42	412	53
3,10	388	71	—	41	401	52
3,15	375	70	—	40	390	50
3,20	363	70	—	39	380	49
3,25	352	69	—	38	361	47
3,30	341	68	—	37	344	46
3,35	331	68	—	36	335	45
3,40	321	67	—	35	320	44
3,45	311	67	—	34	312	42
3,50	302	67	—	33	305	41
3,55	293	66	—	31	291	40
3,60	286	66	—	30	285	—
3,65	277	65	—	29	278	—
3,70	269	65	—	28	272	—

Твердомір						
Брінеля		Роквелла			Віккерса	Шора
Індентор						
Діаметр відбитка, мм	Сталева кулька D=10мм	Алмазний конус	Кулька D=1/16"	Алмазний конус	Алмазна піраміда	Сталевий бойок
	HB	Шкала			HV	HSh
		HRA	HRB	HRC		
3,75	262	64	—	27	261	—
3,80	255	64	—	26	255	—
3,85	248	63	—	25	250	—
3,90	241	63	100	24	240	—
3,95	235	62	99	23	235	—
4,00	228	62	98	22	226	—
4,05	223	61	97	21	221	—
4,10	217	61	97	20	217	—
4,15	212	60	96	19	213	—
4,20	207	60	95	18	209	—
4,25	202	59	94	16	201	—
4,30	196	58	93	15	197	—
4,35	192	58	92	15	190	—
4,40	187	57	91	—	186	—
4,45	183	56	89	—	183	—
4,50	179	56	88	—	177	—
4,55	174	55	87	—	174	—
4,60	170	—	86	—	171	—
4,65	166	—	85	—	165	—
4,70	163	—	84	—	162	—
4,75	159	—	83	—	159	—
4,80	156	—	82	—	154	—
4,85	153	—	81	—	152	—
4,90	149	—	80	—	149	—
4,95	146	—	78	—	147	—
5,00	143	—	76	—	144	—
5,05	140	—	76	—	—	—
5,10	137	—	75	—	—	—
5,15	134	—	74	—	—	—
5,20	131	—	72	—	—	—
5,25	128	—	71	—	—	—
5,35	126	—	69	—	—	—
5,30	124	—	69	—	—	—
5,40	121	—	67	—	—	—

Твердомір						
Брінеля		Роквелла			Віккерса	Шора
Індентор						
Діаметр відбитка, мм	Сталева кулька D=10мм	Алмазний конус	Кулька D=1/16"	Алмазний конус	Алмазна піраміда	Сталевий бойок
	HB	Шкала			HV	HSh
		HRA	HRB	HRC		
5,45	118	—	66	—	—	—
5,50	116	—	65	—	—	—
5,55	114	—	64	—	—	—
5,60	112	—	62	—	—	—
5,65	109	—	61	—	—	—
5,70	107	—	59	—	—	—
5,75	105	—	58	—	—	—
5,80	103	—	57	—	—	—
5,85	101	—	56	—	—	—
5,90	99	—	54	—	—	—
5,95	97	—	53	—	—	—
6,00	96	—	52	—	—	—
6,10	92	—	49,5	—	—	—
6,20	88	—	47	—	—	—
6,36	84	—	43,5	—	—	—
6,48	80	—	40,5	—	—	—
6,56	78	—	38,5	—	—	—

Контрольні питання

1. Який метод визначення твердості слід застосувати для визначення твердості загартованих деталей?
2. Вкажіть одиницю виміру твердості?
3. Дайте визначення твердості матеріалу?
4. Як визначають твердість матеріалу за методом Брінелем?
5. Як визначають твердість матеріалу за методом Роквелла?
6. Які переваги і недоліки має метод Брінеля?
7. Чому дорівнює твердість маловуглецевої сталі, якщо твердість за Брінелем HB=180 кгс/мм²?
8. Чому дорівнюють 4 великі поділки на шкалі лупи мікроскопа у методі Брінеля?
9. Що означає запис HRC=80 (який метод, для яких металів, який індентор, яке основне навантаження, що означають букви H, R і C)?
10. Виведіть розрахункову формулу для методу Брінеля через діаметр відбитка.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

МАКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Мета роботи: самостійно (згідно з методичними рекомендаціями) виявити ліквацію сірки, фосфору, будову ливарної сталі, дефекти зварного шва: вивчити методику макроаналізу.

Прилади та матеріали: зразки, водяна баня, фарфорова ванна, біокулярна лупа, щипці, вата, фільтрувальний папір, спирт, глянцеви́й бромосрібний фотографічний папір, реактиви для виявлення макроструктури.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Властивості металів і сплавів визначаються їхнім структурним станом, який залежить від хімічного складу і попереднього оброблення їх. Для вивчення структури металів і сплавів використовують різні методи, найпоширенішими з яких є металографічний (макроструктурний, мікроструктурний), рентгеноструктурний, дилатометричний, термічний, електроопору, внутрішнього тертя та ін.

Макроструктурою називають будову металу, яку видно неозброєним оком або при невеликому збільшенні (до 10–30 крат) за допомогою лупи. При макроаналізі можна одночасно спостерігати велику поверхню заготовки. Це дає уяву про загальну будову металу, дозволяє в багатьох випадках робити висновки про якість металу та визначати умови попередньої обробки, тобто, умови твердіння, характер і якість обробки, що застосовувалися для надання деталі остаточної форми та властивостей (литво, обробка тиском, зварювання), дендритну будову, усадкову крихкість, раковини, тріщини, шлакові вкраплення, ліквацію сірки, фосфору і вуглецю, структурну неоднорідність, волокнистість структури, глибину зміцненого шару, зернистість структури тощо. Існують два основних методи виявлення макроструктури металу: зламу та протравлювання.

Метод зламу. По вигляду свіжого зламу можна судити про величину зерна металу, а також про наявність різних дефектів: раковин, тріщин, неметалевих включень. Вид зламу буває *кристалічним* (зернистим) або *волокнистим*.

За методом зламів вивчають зломи зразків, деталей, визначаючи характер злому (динамічний, втомний), розмір зерен, внутрішні дефекти (пори, тріщини), дендритну будову, структурну неоднорідність тощо (рис. 1).

У металах і сплавах залежно від їх попереднього оброблення злами бувають кристалічні (зернисті) (рис. 1, а, б) або волокнисті (рис. 2). Кристалічні злами виникають у крихких сплавах і руйнування відбувається по межах зерен (міжкристалічний, див. рис. 1, а) або через зерна (транскристалічний, див. рис. 1, б).

Коли руйнування відбувається в процесі дії циклічних навантажень, то виникають втомні зломи (рис. 3).

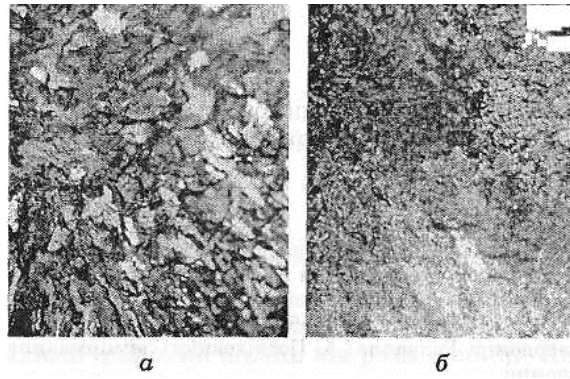


Рис. 1. Характер зламу: а – міжкристалічний крихкий; б – транскристалічний в'язкий

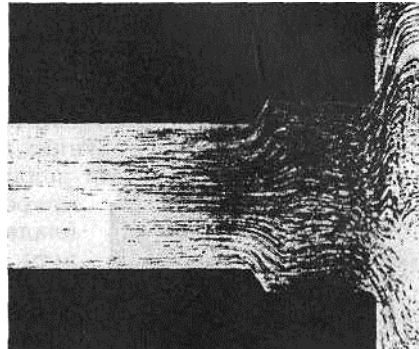


Рис. 2. Волокниста будова макроструктури поковки півосі автомобіля

Методом макрошліфа структуру вивчають на темплеті після його шліфування і протравлення спеціальним реактивом. Цим методом виявляють волокнистість, ліквацію сірки, фосфору і вуглецю, дефекти зварних швів, усадкові та інші раковини, тріщини, глибину зміцненого шару тощо.

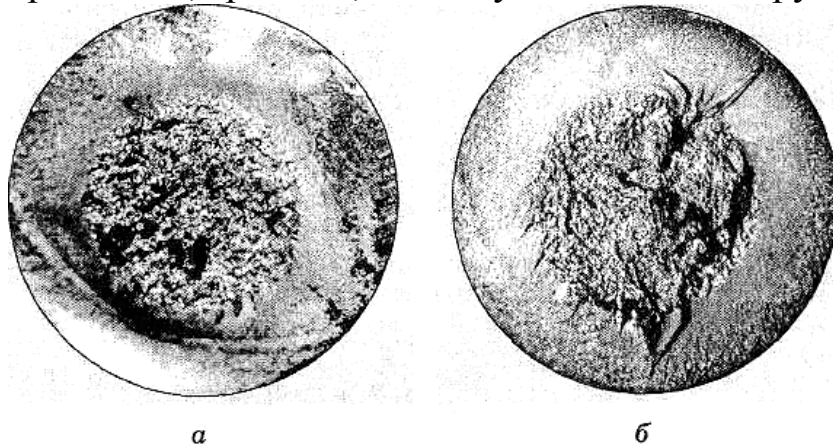


Рис. 3. Макроструктура зламу від втомленості: а – зародження тріщини на поверхні; б – зародження тріщини в перехідній зоні

Метод протравлювання. Для визначення макроструктури методом протравлювання необхідно підготувати спеціальний зразок – *макрошліф*, що вирізається з досліджуваної деталі. Зразок після вирізання заторцюється на точилі, шліфується наждачним папером і протравлюється. Замість протравлювачів використовують спиртові або водні розчини кислот, солей та лугів. Методом протравлювання можна виявити порушення суцільності металу: усадкові та газові раковини, тріщини, дефекти зварювання, дендритну будову, неоднорідність будови, що викликана обробкою тиском і т.д.

Послідовність виконання роботи:

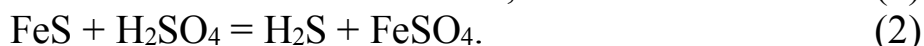
1. Перед практичним виконанням роботи під керівництвом викладача ознайомитися зі стендами, зразками, деталями, темплетами, хімічними реактивами в лабораторії кафедри. Викладач демонструє способи виготовлення макрошліфів, їх травлення відповідними реактивами (дод. 2), звертаючи увагу на те, що зразок для макроаналізу вирізається у відповідних площинах заготовки або деталі. Це залежить від того, що досліджується – відливок, поковка, штамповка, зварний шов, термічно зміцнена деталь тощо.

2. Поверхні, що вивчаються, піддати ручному шліфуванню (шліфувальною шкуркою).

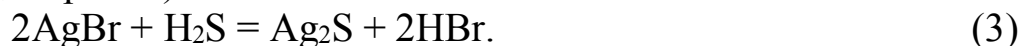
Виявлення неоднорідності (ліквації) сірки

Для виявлення в сталевих і чавунних виробах ліквації сірки використовують метод Баумана, який полягає в тому, що на підготовлений макрошліф емульсійним боком прикладають лист глянцевого бромосрібного фотографічного паперу, попередньо змоченого у 5-ти процентному водному розчині сульфатної кислоти. Пригладжуючи зверху папір рукою, видаляють залишки повітря між папером і поверхнею макрошліфа. Через 3 хв фотопапір знімають із макрошліфа, промивають у воді й переносять у ванночку з 25-ти процентним водним розчином гіпосульфіту. Через 10–15 хв фотопапір промивають водою і сушать.

Отримані на фотопапері ділянки коричневого кольору (рис. 4) позначають місця, збагачені сіркою (скупчення сульфідів FeS, MnS). Бромисте срібло утворюється в процесі реакцій (1), (2) і (3), які відбуваються під час взаємодії сульфідів із сульфатною кислотою, що є на змоченому папері:



Утворений сірководень (H_2S) діє на бромисте срібло емульсійного шару паперу, в результаті чого утворюється сірчисте срібло, що має темно-коричневий колір (див. рис. 4):



Отриманий фотовідбиток прикладають до звіту, описавши характер розподілення сірки. Приклад виявлення ліквації сірки наведено на рис. 4 для темплета рейки.

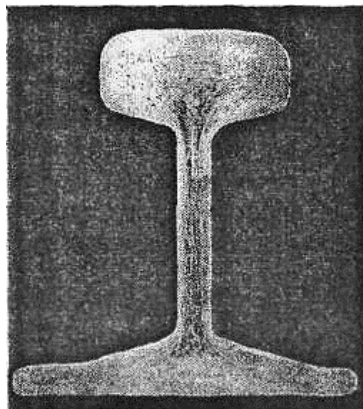


Рис. 4. Ліквація сірки в сталевій рейці

Наявність у сталі сульфідів заліза негативно впливає на її властивості. Це пояснюється тим, що легкоплавка евтектика заліза з сірчистим залізом ($\text{Fe} + \text{FeS}$) розміщується на межах зерен і плавиться за температури $985\ldots 988\text{ }^{\circ}\text{C}$. При гарячому обробленні тиском таких сталей за температур понад $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ евтектика швидко плавиться, розділяючи зерна, що призводить до виникнення тріщин, надривів. Таке явище називають червоноламкістю і воно підсилюється за нерівномірного розподілення (ліквації) сірки.

Виявлення прогартованості сталевих деталей. Для прикладу розглянемо виявлення прогартованості сегмента різального апарата косарки або комбайна.

На поверхню макрошліфа сегмента ватним тампоном рівномірно наносять 5–10-и процентний розчин сульфатної кислоти у воді. Після витримання 1–2 хв поверхня, що піддавалася гартуванню струмами високої частоти, матиме темніше забарвлення порівняно з усією поверхнею сегмента (рис. 5).

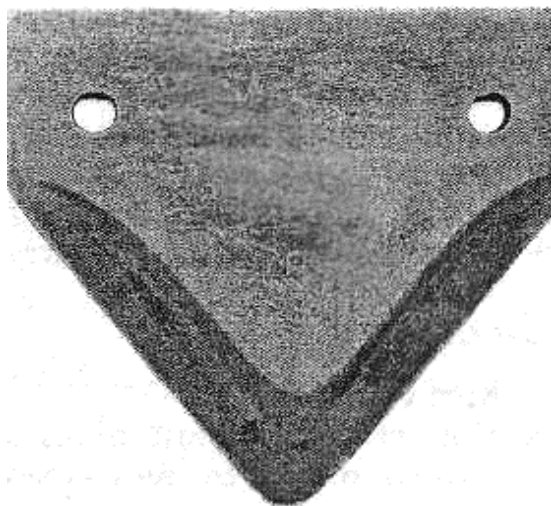


Рис. 5. Виявлення глибини гартування різального сегмента

Виявлення ліквації фосфору

Ліквацію фосфору в сталі виявляють травленням макрошліфу в реактиві Гейна складу: 85 г хлорної міді CuCl_2 , 53 г хлористого амонію NH_4Cl в 1000 см^3 води.

Для виявлення ліквації необхідно:

1. Відшліфовану поверхню зразка протерти ватою, змоченою в спирті.
2. Зразок занурити в реактив і витримати в ньому 2–3 хв. Під час витримки відбувається обмінна реакція зразка в реактиві, залізо розчиняється у реактиві й витискає з розчину мідь, що осідає на поверхні зразка, утворюючи крихкий шар міді.
3. Після витримки зразок вийняти з реактиву. Вся поверхня зразка вкрита міддю.
4. Струменем води змити з поверхні шар міді і протерти макрошліф мокрою ватою.
5. Просушити зразок.

Більш темні, тобто глибоко протравлені ділянки - це місця, що збагачені фосфором, отже, чим більше в залізі фосфору, тим швидше воно розчиняється, світлі ділянки – місця з меншим вмістом фосфору, темніші зони збагачені фосфором.

6. Замалювати отриману макроструктуру і дати характеристику ліквації фосфору.

Таким самим реактивом вивчають дефекти зварного шва, волокнистість сталі.

Виявлення будови ливарної сталі

Будову ливарної сталі (дендритна структура) виявляють травленням відшліфованого зразка в 15-ти процентному водному розчині персульфату амонію.

Для виявлення дендритної структури необхідно наступне.

1. Відшліфовану поверхню зразку протерти ватою, змоченою в спирті.
2. У водяну баню розмістити фарфорову чашку, налити в неї реактив і нагріти до 80–90 °С.
3. Зразок за допомогою щипців занурити в гарячий реактив і витримати в ньому протягом 5–10 хв.
4. Після витримки в реактиві зразок вийняти з реактиву.
5. Зразок промити водою і просушити.
6. Замалювати і дати характеристику виявленої мікроструктури.

Виявлення дефектів зварного шва та волокнистості сталі

Для виявлення дефектів зварного шва виконується глибоке травлення відшліфованого зразка водним розчином соляної кислоти (50 см³ HCL 50 см³ води).

Роботу виконувати таким чином:

1. Відшліфовану поверхню зразка протерти ватою, змоченою в спирті.
2. Зразок занурити в гарячий реактив (60–70 °С) і витримати в ньому 40–45 хв.
3. Після витримки зразок промити водою, а потім 10–15 процентним розчином азотної кислоти просушити.
4. Замалювати отриману макроструктуру і дати характеристику виявлених дефектів. При глибокому травленні розчином кислоти високої концентрації відбувається розтравлення дефектів, які порушують суцільність металу, вони стають видимими неозброєним оком.

Волокнистість сталі виявляють за цією ж методикою.

При виявленні дефектів зварювального шва поверхня макрошліфа в зоні шва матиме підвищену протравленість. Зона термічного впливу, що прилягає до зварного шва, буде більш протравленою (темнішою) (рис. 6).

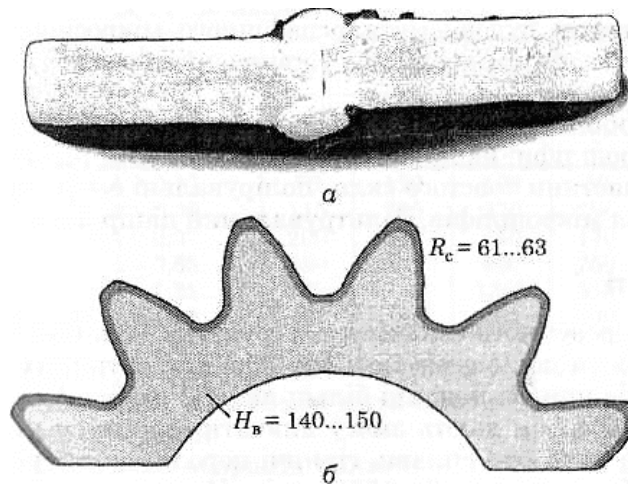


Рис. 6. Макроструктура поверхні: а – зварного шва; б – шестерні

Порядок виконання роботи

1. Виявити ліквацію сірки і фосфору; будову ливарної сталі; дефекти зварного шва.
2. Замалювати і дати характеристику виявленим макроструктурам.
3. Скласти звіт про роботу.

Складання звіту

Звіт про роботу повинен містити такі дані:

1. Мета роботи.
2. Порядок виконання роботи.
3. Рисунки макроструктур з коротким описом методики виявлення та характеристикою неоднорідності сірки і фосфору, дефектів зварного шва, будови ливарної сталі та волокнистості.

Контрольні питання

1. Що називають макроструктурним аналізом?
2. Які основні методи макроструктурного аналізу і які дефекти можна виявити?
3. Що таке метод Баурмана?
4. Як визначити ліквацію фосфору в сталі?
5. Що називають міжзерним зломом?
6. Що таке транскристалічний злам?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

ВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ

Мета роботи: Вивчити мікроструктуру вуглецевих сталей у рівноважному стані за допомогою металографічного мікроскопа. Навчитися за структурою оцінювати зміст вуглецю в сталях. Вивчити класифікацію та маркування вуглецевих сталей. Ознайомитися з практичним використанням різних марок вуглецевих сталей.

Прилади та матеріали: металографічний мікроскоп типу МИМ-7, набір мікрошліфів вуглецевих сталей у рівноважному (відпаленому) стані (доевтектоїдних, евтектоїдних, заевтектоїдних), зразки відпаленої сталі з різним змістом вуглецю для випробування на твердість. Прилад для вимірювання твердості, вимірювальний мікроскоп МПБ-2.

Наочні посібники: діаграма залізовуглецевих сплавів, графік залежності механічних властивостей сталей від змісту вуглецю, атлас макро- та мікроструктур металів і сплавів, схема класифікації вуглецевих сталей.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Сталі – залізовуглецеві сплави зі вмістом вуглецю до 2,14%.

На діаграмі стану Fe-Fe₃C сталі займають область, що, розташована ліворуч точки E. Структура і властивості вуглецевих сталей залежать від змісту вуглецю в них. Рівноважними є структури, які одержані в умовах нескінченно повільного охолодження рідкого розплаву, в результаті чого всі фазові перетворення відбуваються відповідно до діаграми стану. Швидке охолодження у воді, в мастилі, на повітрі або в інших швидкоохолоджувальних середовищах приводить до одержання нерівноважних загартованих структур.

Відповідно до *діаграми "залізо-цементит"* сталі класифікуються на:

- а) доевтектоїдні – зі вмістом вуглецю від 0,025% до 0,8%;
- б) евтектоїдні – зі вмістом вуглецю 0,8%;
- в) заевтектоїдні – зі вмістом вуглецю від 0,8% до 2,14%.

Метал, який складається з хімічного елемента – заліза та інших хімічних елементів, що входять до його складу як домішки або забруднення, – називається технічним залізом. Вуглець у технічному залізі також є домішок і його вміст не більше 0,006%.

Зі збільшенням вмісту вуглецю кількість перліту в доевтектоїдній сталі збільшується, а кількість фериту зменшується. Евтектоїдна сталь має чисто перлітну структуру (100 % П), де назва перліт походить від слова *перламутр* (суміш двох фаз: зерен заліза - ферита і зерен карбід-заліза - цементита). Структура заевтектоїдної сталі – перлітно-цементитна. З підвищенням вмісту вуглецю від 0,8 до 2,14 % кількість вторинного цементиту в заевтектоїдній сталі збільшується. Сталь зі вмістом вуглецю 2,14 % містить до 23 % вторинного цементиту.

Приблизно кількість вуглецю в доєвтектоїдних сталях визначається за формулою, попередньо визначивши площу S (%), яку займає перліт на зрізі мікрошліфу, %:

$$C = \frac{S_{\text{п}} \cdot 0,8}{100}, \quad (1)$$

де $S_{\text{п}}$ – площа, яку займають перлітні зерна, %;
0,8 – масова частка вуглецю в перліті, %.

Вважатимемо, що $S_{\text{п}}=60\%$, тоді

$$C = \frac{60 \cdot 0,8}{100} = 0,48\% \approx 50\%.$$

Отже, за вмістом вуглецю мікроструктура відповідає сталі 50.

Кількість вуглецю, що міститься в заєвтектоїдних сталях, визначити складно через труднощі визначення площі, яку займає цементитна сітка. Щоб визначити масову частку вуглецю в заєвтектоїдних сталях за мікроструктурою потрібно врахувати яку площу займає перліт і цементит, в яких міститься вуглець, %:

$$C = \frac{(S_{\text{п}} \cdot 0,8) + (S_{\text{ц}} \cdot 6,67)}{100}, \quad (2)$$

де $S_{\text{п}}$ – площа, яку займають перлітні зерна, %;

$S_{\text{ц}}$ – площа, яку займає цементитні зерна, %,

беремо відповідно 97%, 3%, тоді масова частка вуглецю в сталі становить:

$$C = \frac{(97 \cdot 0,8) + (3 \cdot 6,67)}{100} = 0,976\% \approx 1,0\%. \quad (3)$$

Класифікація сталей

Залежно від **вмісту вуглецю** сталі поділяють на:

- низьковуглецеві – зі вмістом вуглецю менше 0,3 %;
- середньовуглецеві – зі вмістом вуглецю від 0,3 до 0,7 %;
- високовуглецеві – зі вмістом вуглецю від 0,7 до 1,4 % (рис. 1).

Сталі зі вмістом більше 1,4 % C у зв'язку з великою кількістю вторинного цементиту крихкі й неміцні, тому практично не знаходять застосування в машинобудуванні.

Якість сталі, в основному, визначається кількістю шкідливих домішок – сірки та фосфору.

За якістю:

- сталі звичайної якості ($S \leq 0,06$ %; $P \leq 0,08$ %);
- сталі якісні ($S \leq 0,04$ %; $P \leq 0,03$ %);
- високоякісні ($S \leq 0,02$ %; $P \leq 0,02$ %).

За ступенем розкислення:

- сталі киплячі (КП), розкислені феромарганцем, які майже не містять кремній ($Si \leq 0,05$ %);
- сталі напівспокійні (НС), розкислені феромарганцем, феросиліцієм та алюмінієм ($Si=0,5-0,15$ %);
- сталі спокійні (СП), розкислені феромарганцем, феросиліцієм і алюмінієм ($Si=0,15-0,35$ %).

Кипляча сталь має найменший вміст кремнію та більш пластична в холодному стані, майже однакова твердість з напівспокійною сталлю але має меншу ударну в'язкість. Кипляча сталь дешевша спокійної сталі.

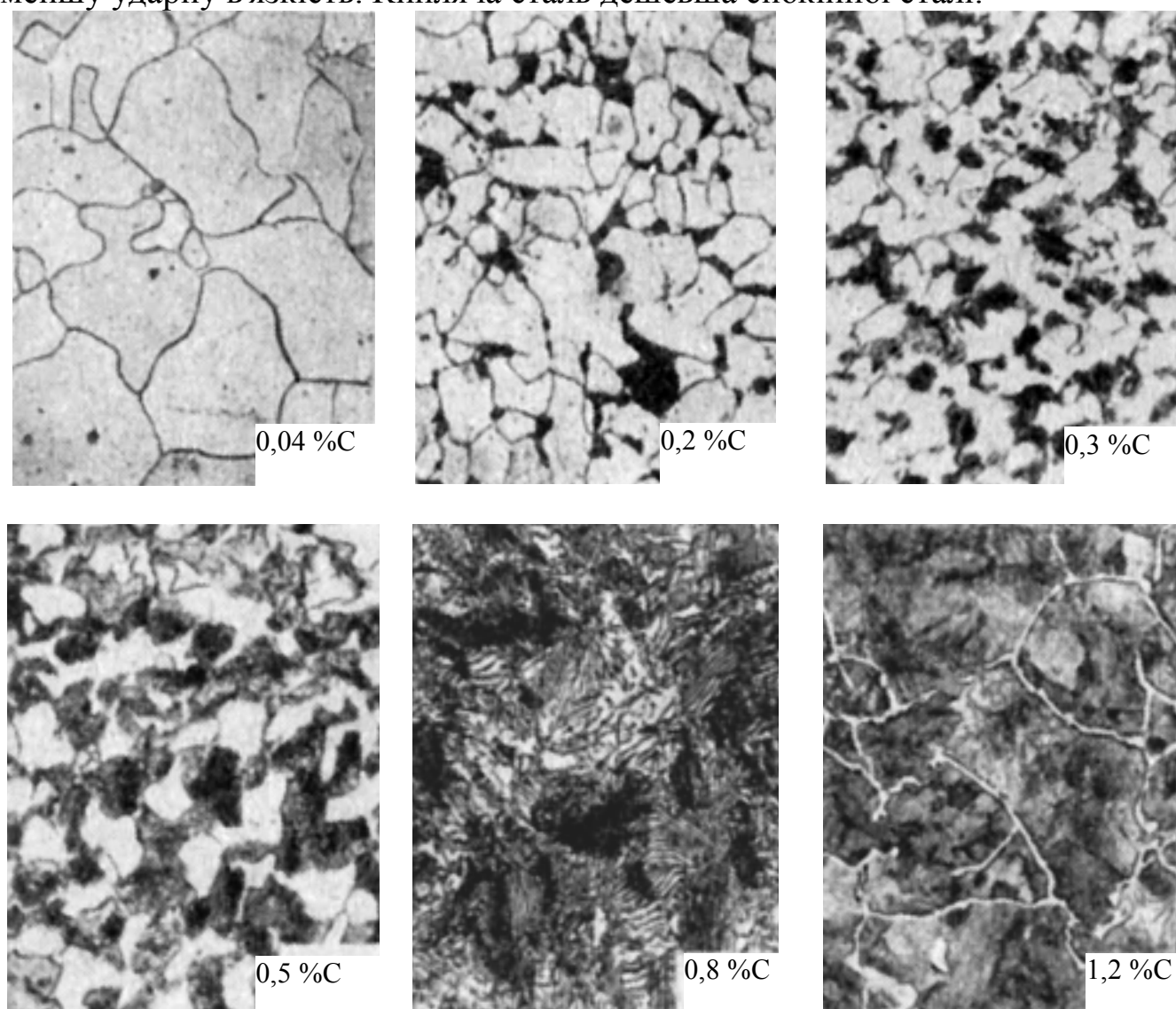


Рис. 1. Мікроструктура сталей залежно від вмісту вуглецю (x450)

За способом виплавки:

- ❖ в мартенівських печах;
- ❖ в кисневих печах;
- ❖ в електричних (електродугових, індукційних і ін.).

За призначенням:

- ❖ сталі конструкційні ($C = \text{до } 0,85 \%$);
- ❖ сталі інструментальні ($C = 0,7\text{--}1,4 \%$);
- ❖ спеціальні — сталі з особливими властивостями (електротехнічними, магнітними і ін.).

Конструкційні сталі в свою чергу поділяються на: сталі звичайної якості, якісні, автоматні, ливарні. Конструкційні сталі постачаються заводами-виробниками гарячокатаними, холоднотягнутими або кованими. Інструментальні сталі випускаються двох груп: якісні та високоякісні.

Сталі звичайної якості (ГОСТ 380) поділяються на три групи: А, Б і В. Група А це сталі Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. У цих сталей нормуються механічні властивості (σ_b , σ_t , δ). Цифра в марці сталі означає її умовний номер і змінюється від 0 до 6, чим більше ця цифра, тим більше значення σ_b і σ_t . Різновид сталей групи А за розкисленням показано у додатку 1. Індеси Б і В вказуються в марках сталей групи Б і В, а індекс А в сталей групи А не вказується.

У сталей групи Б нормується хімічний склад за вуглецем (від 0,23 до 0,49%), кремнію (0,05...0,35 %) і марганцю (0,25...1,2 %): БСт0, БСт1, ..., БСт6. Повторюються ті ж різновиди сталей як і у групі А за розкисленням та за вмісту марганцю: БСт0, БСт1кп, БСт1пс, ..., БСт6 (додаток 2).

Група В – нормується хімічний склад і механічні властивості: ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5 (індекс В – група сталі В, у відмінності від сталей груп А і Б у групі В немає сталей Ст0, Ст6).

Приклади розшифровки позначень сталей: сталь Ст2кп3 - сталь звичайної якості групи А, марки Ст2, що кипить, 3-й категорії; сталь ВСт4кп4 - сталь звичайної якості, групи В, марки Ст 4, що кипить, 4-ої категорії.

Якісні вуглецеві сталі можуть бути зі звичайним змістом марганцю (05кп, 08кп, ..., 25, ..., 85) і з підвищеним (15Г, 20Г, ..., 85Г).

Цифра в марці означає вміст вуглецю в сотих частках %, а індекс Г указує на наявність марганцю (1%). Високоякісні сталі містять менше кількості шкідливих приміток ($S < 0,02$ %, $P < 0,02$ %) і позначаються індексом А в кінці марки сталі, наприклад: У8А – високоякісна високовуглецева інструментальна сталь, що містить 0,8 % вуглецю.

Застосування вуглецевих сталей у будівництві й машинобудуванні:

- Сталі звичайної якості використовують у конструкціях, що не піддають динамічним навантаженням і впливу низьких температур.
- Сталі 08кп, 05кп – для листового штампування в автомобілебудуванні й інших галузях.
- Сталі Ст0, Ст1, ...Ст2, Ст08, ... Ст25 – для виготовлення прокату листа, швелера й т.д.
- Сталі 10, 15, ..., 25 – для зварених і клепаних конструкцій (без наступної термообробки).
- Сталі Ст3кп, Ст5, МСт3кп, і ін. для виготовлення залізобетонних виробів.
- Листові конструкції, резервуари, трубопроводи виготовляють зі сталей МСт1кп, МСт2кп, ...МСт3пс.
- Сталі 30, 35, 40 – для деталей (вали, осі, шестірні), що працюють при більших навантаженнях (піддаються нормалізації й загартуванню).
- Сталі 45, 50 – для колінчатих валів.
- Сталі 55, 60, 65 й 70 – пружини, ресори, шестірні (гартування і відпуск).

Леговані сталі

Легованими називають сталі, в які спеціально введено легуючі інгредієнти, що змінюють їхні властивості та структуру.

Леговані сталі поділяються за:

- ступенем легування: низьколеговані – сумарна кількість легуючих елементів до 2,5 %; середньолеговані – 2,5...10 %, високолеговані – >10 % легуючих елементів;
- призначенням: конструкційні, інструментальні та зі спеціальними властивостями (будівельні, машинобудівні, зносостійкі, високоміцні, жаростійкі, хімічно стійкі й ін.).
- хімічним складом;
- структурою;

Легуючі елементи впливають на ті або інші властивості сплаву. Так, вольфрам надає сталі твердість, марганець – зносостійкість, кремній – пружність, нікель – в'язкість, молібден – жароміцність, хром і нікель – кислотостійкість.

Букви в позначенні марки сталі означають присутність тих або інших хімічних елементів у сталі, а цифри після них - вміст легуючих елементів в %. Якщо вміст хімічного елемента не перевищує 1,5 %, то цифра не ставиться. Якщо є буква А в кінці марки, то ця сталь високоякісна. Цифри, що стоять перед буквами - символами легуючих елементів, означають вміст вуглецю в конструкційних сталях у сотих частках відсотка, а в інструментальних - у десятих частках відсотка.

Позначення легуючих елементів: Х – хром, Н – нікель, М – молібден, В – вольфрам, К – кобальт, Т – титан, А – азот (вказується у середині марки), Г – марганець, Д – мідь, Ф – ванадій, С – кремній, П – фосфор, Р – бор, Б – ніобій, Ц – цирконій, Ю – алюміній, Е – селенів.

Легована конструкційна сталь: Сталь 15Х25Н19ВС2.

На початку марки указується двохзначне число, що показує вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Далі перераховуються легуючі елементи. Число, наступне за умовним позначення елемента, показує його вміст у відсотках. Якщо число не стоїть, то вміст елемента не перевищує 1,5 % і =1%.

У вказаній марці сталі міститься 0,15 % вуглецю, 25% хрому, 19 % нікелю, до 1,5% вольфраму, до 2 % кремнію.

40ХН4А – високоякісна хромонікелева сталь середньолегована, що містить 0,4 % вуглецю, 1 % хрому й 4 % нікелю, сірки і фосфору < 0,02 %.

Легована інструментальна сталь: Сталь 9ХС, сталь ХВГ.

На початку марки указується однозначне число, що показує вміст вуглецю в десятих частках відсотка. При вмісті вуглецю більше 1 %, число не вказується. Далі перераховуються легуючі елементи, з вказівкою їх вмісту.

Деякі сталі мають нестандартні позначення:

- *швидкорізальні інструментальні сталі* - Сталь Р18, де Р - індекс даної групи сталей (від rapid — швидкість), вміст вуглецю більше 1%, число показує вміст основного легуючого елемента — вольфраму. У вказаній сталі вміст вольфраму - 18 %, якщо сталі містять легуючі елементи, то їх вміст вказується після позначення відповідного елемента.

- *шарикопідшипникові сталі* - Сталь ШХ6, сталь ШХ15ГС, де Ш - індекс даної групи сталей, Х - указує на наявність в сталі хрому, подальше число показує вміст хрому в десятих частках відсотка, у даних сталях, відповідно, 0,6 % і 1,5 %, також вказуються вміст легуючих елементів які входять у склад, вміст вуглецю більше 1 %.

Із збільшенням змісту вуглецю в сталі змінюється її структура, збільшується кількість цементиту та зменшується частка фериту. Ферит являє собою м'яку, пластичну структурну складову, а цементит - твердий та крихкий. Відповідно до зміни структури змінюються і властивості сталі. Чим більше вуглецю в сталі, тим вища твердість, міцність, але нижча пластичність і ударна в'язкість (рис. 2).

Границя міцності (σ_{ϵ}) – це максимальне напруження зразка при прикладанні сили на розтяг до початку розриву шийки зразка з початковим поперечним перерізом S_0 :

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{F}{S_0} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{мм}^2} \right],$$

де S_0 – початкова площа перерізу зразка, мм^2 ; F – прикладена сила для руйнування зразка.

Границя міцності ($\sigma_{\text{в}}$) характеризує жорсткість металу, силу прикладену з зовнішнього середовища яка змінить міжатомну відстань металу тобто характеризує силу міжатомної взаємодії даного металу та силу, яку необхідно прикласти до зразка до утворення тріщини.

Ударна в'язкість (a_n) – визначається відношенням роботи руйнування A , витраченої на деформацію і руйнування ударним згином надрізаного зразка, до початкової площі поперечного перерізу зразка в місці надрізу S_0 :

$$a_n = \frac{A}{S_0} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{мм}^2} \right],$$

тут S_0 – початкова площа перерізу зразка; A – робота руйнування зразка.

Зразок установлюють на опорах копра та наносять удар по стороні зразка протилежного надрізу. Робота витрачена на руйнування зразка:
 $A = mg(H - h) = mgl(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$.

Тут m – маса маятника; g – прискорення сили тяжіння; H , h – висота підняття маятника до удару і після руйнування зразка; l – довжина маятника; α_1 , α_2 – кути підняття маятника до удару і після руйнування зразка.

Величини P , H , l , α_1 – постійні при випробуванні значення роботи руйнування визначають за допомогою спеціальних таблиць за значенням α_2 (h).

Відносне видовження (δ) знаходять за формулою:

$$\delta = \frac{(l - l_0)}{l_0} \cdot 100 [\%],$$

де l_0 – початкова довжина зразка; l – довжина зразка після розриву;

δ – це відношення абсолютного видовження до початкової довжини зразка;

δ – це максимальне видовження зразка до початку розриву, визначається в %.

Відносне звуження (ψ) знаходять за формулою:

$$\psi = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \cdot 100 [\%],$$

де S_0 – початкова площа перерізу зразка; S – площа перерізу руйнуючого зразка в місці розриву;

ψ – це відношення абсолютного звуження до початкової площі поперечного перерізу зразка;

ψ – це максимальне звуження зразка до початку розриву, визначається в %.

Умовно прийнято вважати метал надійним при $\delta \geq 15\%$, $\psi \geq 45\%$.

Вуглець ускладнює зварювання сталі. Доброю зварюваністю відрізняються низьковуглецеві сталі ($C=0,3\%$). Механічні властивості сталі залежать також від форми і розмірів ферито-цементитної суміші. Чим дисперсніші (менші) частинки ферито-цементитної суміші, тим вища міцність та твердість сталі. Зерниста форма цементиту порівняно з пластинчастою при однаковій твердості характеризується більш високою пластичністю.

Границя міцності (σ_s) сталі при розтягуванні підвищується до вмісту вуглецю 0,8-0,9 %, а потім спадає у міру підвищення структурної складової - цементиту вторинного, тому що підвищується крихкість і знижуються пластичні властивості.

Ударна в'язкість (a_n), відносне видовження (δ) та відносне звуження (ψ) із збільшенням вуглецю зменшуються. Кращою здатністю для обробки володіє сталь, що містить від 0,3 до 0,5 % вуглецю. Низьковуглецеві сталі погано оброблюються різанням, тому що утворюється шорстка поверхня і стружку важко вилучити.

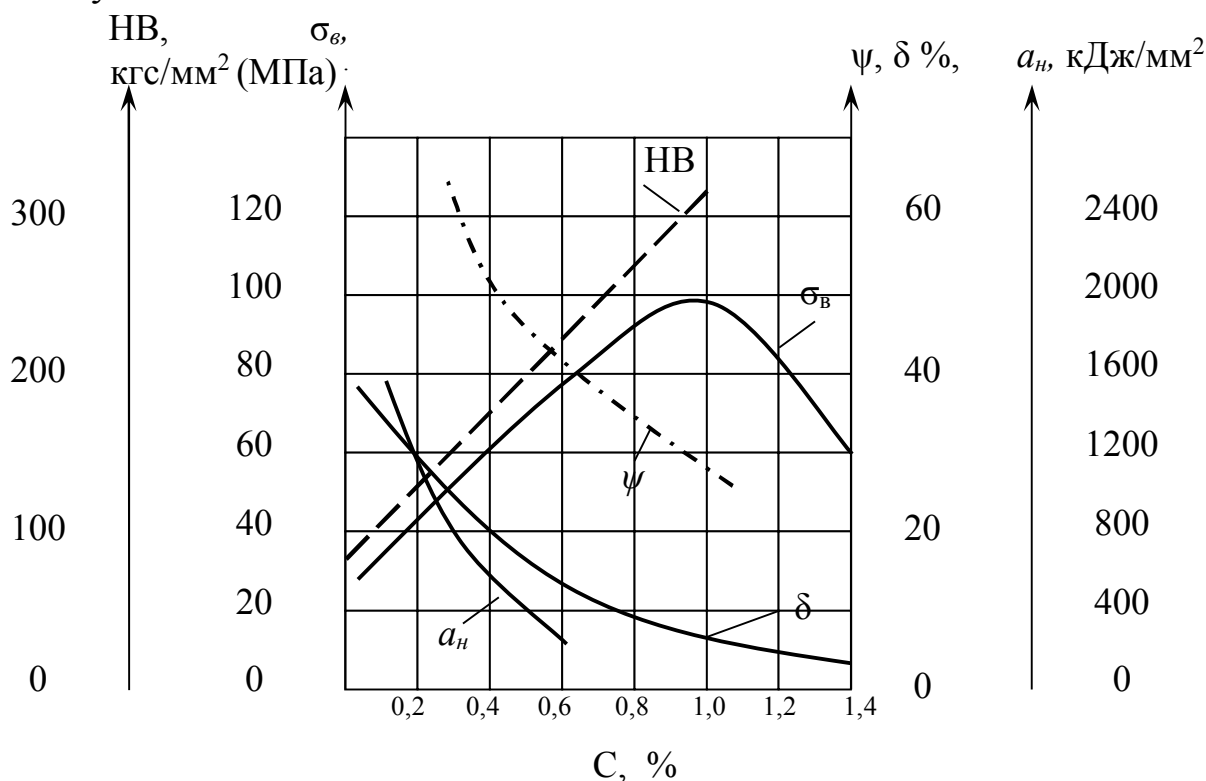


Рис. 2. Графік залежності механічних властивостей сталі від вмісту вуглецю

Завдання та порядок виконання роботи

1. При виконанні роботи необхідно вивчити за допомогою металографічного мікроскопа підготовлені мікрошліфи сталі.
2. Визначити приблизний вміст вуглецю в доєвтектоїдній та заєвтектоїдній сталях за площею яку займає перліт.
3. Замалювати схеми мікроструктур і позначити всі структурні складові.
4. Провести заміри властивосте зразків сталей з різним вмістом вуглецю.
5. Розшифрувати вказані марки сплавів.

Оформлення звіту

1. У звіті вказати: мету, обладнання, матеріали, короткі теоретичні відомості.
2. Звіт повинен містити рисунки структур, що спостерігаються.
3. Необхідно вказати травник, збільшення мікроскопа.
4. Провести розрахунок кількості вуглецю за площею, яку займає перліт, графік залежності твердості сталі від змісту вуглецю в ній.
5. Записати заміри властивосте зразків сталей з різним вмістом вуглецю.
6. Записати розшифровку вказаних марок сплавів.

Контрольні питання

1. Що таке сталь?
2. Яка максимальна кількість вуглецю в сталях, що застосовуються на практиці?
3. Як класифікується сталь за структурою та кількістю вуглецю в ній?
4. Яка із названих марок сталей є інструментальна високоякісна? Сталь 30, У 13, А-20, Сталь 3, Сталь 65, Сталь 45А, У13, У9А, Сталь 6, В Сталь 3пс, Т15К6.
5. Що таке червоноламкість сталі і чим вона викликана?
6. Від чого залежить структура і механічні властивості сталі?
7. Із яких сталей виготовляють дрібний інструмент – мітчики, плашки, розгортки? Маркування цих сталей.
8. Як позначається підвищений вміст марганцю в сталі?
9. Що таке холодноламкість і гарячолламкість?
10. Розшифруйте марки сталей: 30ХН3А, Ст. 5, У 11, У 9А, 12Х18Н1Т, 10Г2, 60Г, 15Х2ГН2ТА, У 12Х5ВФ, Р6М5, Т15К6, ВК8.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

ЧАВУНИ

Мета роботи: Вивчити макроструктуру білих, сірих, високоміцних ковких чавунів. Навчитися класифікувати чавуни за формою графітових включень і металевої основи. Вивчити вплив різних елементів, форми графітних включень і металевої основи на властивості чавунів. Ознайомитися з класифікацією, маркуванням і застосуванням чавунів.

Прилади та матеріали: металографічний мікроскоп типу МИМ-7. набір мікрошліфів білих, сірих, високоміцних і ковких чавунів, атлас макро- та мікроструктур металів і сплавів, плакати зі структури та маркування чавунів.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Сплав заліза з вуглецем в якому вуглецю більше 2,14%, називається **чавуном**. Мікроструктури чавунів характеризуються частиною діаграми стану Fe-Fe₃C. Існування легкоплавкої евтектики в структурі забезпечує кращі ливарні властивості порівняно зі сталлю, а більш низька температура плавлення створює не тільки зручності в роботі, а й кращу рідкотекучість і заповненість форми.

Класифікація чавунів

- **За твердістю** чавуни класифікують на м'які $HB < 149$, середні $HB = 149 - 197$, підвищеної твердості $HB = 197 - 269$ і тверді $HB > 269$.
- **За міцністю** чавуни класифікують на звичайну міцність ($\sigma_s < 200$ МПа), підвищену міцність ($\sigma_s = 200 - 380$ МПа) і високу міцність ($\sigma_s > 380$ МПа).
- **За пластичністю** чавуни класифікують на непластичні ($\delta < 1$ %), малопластичні ($\delta = 1 - 5$ %), пластичні ($\delta = 5 - 10$ %) і підвищеної пластичності ($\delta > 10$ %).
- **За експлуатаційними** характеристиками чавуни підрозділяють на зносостійкі, антифрикційні, корозійностійкі, жароміцні, жаростійкі, немагнітні.
- **За формою** графіту розрізняють чавуни з пластинчастим (СЧ), кулястим або глобулярним (ВЧ), хлопоподібним або гніздоподібним графітом (КЧ) і вермикулярним графітом (ЧВГ).
- **За структурою** металевої матриці чавуни діляться на феритні, перлітові, аустенітні, білі та зі змішаною структурою – перлітно-феритні, половинчасті (перліт + цементит), аустенітно-мартенситні та ін.
- Залежно від того, **в якому стані виділяється вуглець**: в зв'язуючому стані у вигляді цементиту Fe₃C або у вільному у вигляді графіту, чавуни поділяються на *білі* і *сірі*. Цементит надає зламу срібно-білого кольору. Тому чавун, в якому весь вуглець міститься у вигляді цементиту, називається **білим**.

Графіт надає зламу сірого кольору, тому чавуни називаються **сірими**. До групи сірих чавунів належать також високоміцні і ковкі чавуни. Ці чавуни відрізняються формою графіту і умовами його утворення.

На структуру чавунів, що практично застосовуються, впливає хімічний склад. Найбільш широке застосування дістали доевтектичні чавуни, які мають 2,3–3,8 % С (граничний зміст вуглецю в чавунах становить 5 %). Але чавун -

не подвійний залізовуглецевий сплав, він містить у собі кремній, марганець, сірку і фосфор. Кремній дуже впливає на структуру чавуну, посилюючи графітизацію. Зміст кремнію в чавунах коливається від 0,3 до 5 %. Наявність кремнію сприяє поліпшенню ливарних властивостей, знижує температуру плавлення чавуну і збільшує рідкотекучість. Марганець, на відміну від кремнію, перешкоджає графітизації, тобто сприяє відбілюванню чавуну. Слід зазначити, що зміст марганцю від 0,4 до 0,6 % за наявності сірки є графітизуючою домішкою, тому що з'єднуючись із сіркою, MnS сприяє вилученню сірки з чавуну.

Фосфор практично не впливає на процес графітизації. Однак фосфор є корисною домішкою чавуну, адже він поліпшує рідкотекучість за рахунок утворення подвійної або потрійної евтектики, що плавиться за $980^{\circ}C$. Сірка – шкідлива домішка. Вона сприяє збільшенню зв'язуючого вуглецю, тобто відбілюванню, одночасно погіршуючи ливарні властивості. Зміст сірки не повинен перевищувати 0,15 %.

Елементи – кремній, титан, нікель, мідь, алюміній, що сприяють виділенню графіту, називають *графітизуючими*.

Елементи – марганець, молібден, сірка, хром, ванадій, вольфрам, які сприяють зв'язуванню вуглецю у вигляді цементиту, називають *карбідоутворюючими*. Змінюючи вміст у чавуні вуглецю і кремнію, а також швидкість охолодження виливання, можна отримати різну структуру чавуну. Відливаючи із чавуну одного складу деталі різної товщини, можна отримати різну структуру. Для приблизного визначення структури чавунів залежно від змісту домішок і швидкості охолодження користуються так званими структурними діаграмами.

Чавун в одній виливці може мати різну структуру. Швидкість охолодження на поверхні виливки більша, ніж у середині, а якщо швидкість охолодження буде більшою, утвориться більше цементиту. Тому на поверхні ступінь графітизації менший. Для визначення залежності структури чавуну від таких факторів, як кількість вуглецю, кремнію і швидкості охолодження, користуються структурною діаграмою, що зображена на рис. 1.

Залежно від ступеня графітизації металева основа чавуну має феритну, ферито-перлітну і перлітну основу.

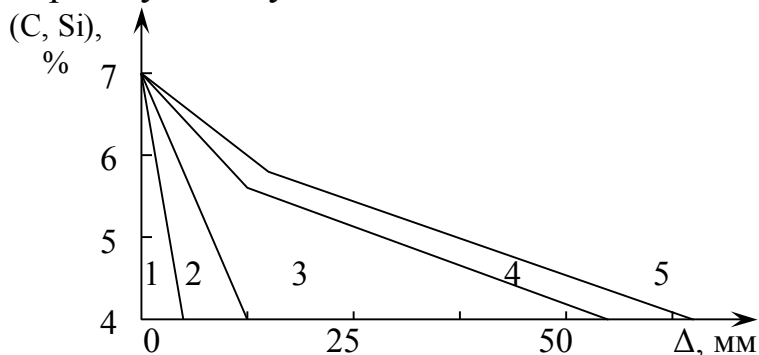


Рис 1. 1 – білий чавун, 2 – половинчастий чавун, 3, 4, 5 – сірий перлітний, сірий ферито-перлітний і сірий феритний відповідно

Марки чавунів, їх отримання та призначення

Білі чавуни характеризуються тим, що в них увесь вуглець міститься в зв'язуючому стані у вигляді цементиту Fe_3C . Злам такого чавуну буде срібно-білий. Білі чавуни крихкі, тверді, не піддаються механічній обробці різцем. Білі чавуни майже не використовуються. Понад 90 % білих чавунів переробляється на сталь, або їх використовують для отримання ковкого чавуну. Отриманню білого чавуну сприяють: швидке охолодження, підвищений вміст карбідоутворюючих домішок, знижений вміст графітоутворюючих.

Структура білих чавунів відповідає діаграмі стану і поділяється на класи:

- доевтектичні, що містять вуглець від 2,14 до 4,3 %, структура їх складається з перліту, цементиту вторинного і ледебуриту;
- евтектичні, що містять 4,3 % вуглецю, структура – ледебурит (перліт + цементит II);
- заевтектичні, що містять від 4,3 до 6,67 %, структура – цементит первинний і ледебурит.

Через високу твердість та крихкість цей чавун має обмежене застосування – валки подріблювальних машин, виливання наборів опалювальних систем, ємностей для агресивних середовищ і т.д.

Широко застосовуються деталі з відбіленого чавуну, в яких поверхневі шари мають структуру білого чавуну, а серцевина – сірого. Така будова створюється при швидкому охолодженні поверхні виливки, при заливанні металу в металеві форми. Висока твердість поверхні обумовлює добрий опір абразивному спрацюванню. Тому відбілений чавун застосовують для виготовлення валків і жерновів подріблювальних машин, валків мостових станів, бичів молотильного апарату і т.д.

Сірі чавуни – характеризуються тим, що в них увесь вуглець або частина його міститься у вільному стані у вигляді графіту. На графітизацію сірих чавунів впливає швидкість охолодження виливки, кількісний зміст графітоутворюючих домішок. Механічні властивості чавуну визначаються пластинчастою формою графіту, взаємним перетином пластинчастих включень з площиною шліфа металевої основи. Графіт має дуже низькі механічні властивості, тому чавун можна розглядати як сталь, що має велику кількість тріщин, надрізів, порожнин. Тому чавун рекомендується використовувати переважно для виробів, що підлягають стисканню.

У таблицях 1 і 2 наведено показники пластичності й твердості чавуну залежно від форми графітових включень та структури металевої основи, мікроструктуру металевої основи чавунів показано на рис. 2.

Як конструкційний матеріал, чавун має декілька переваг порівняно зі сталлю. Він краще обробляється різанням, володіє антифрикційними властивостями, не чутливий до концентраторів напружень.

Сірий чавун маркується двома літерами СЧ і однією парою цифр, що позначають гарантоване значення границі міцності при розтягуванні (σ_{σ}) в кгс/мм².

Таблиця 1.

Форма графітових включень	Відносне видовження, %
Пластинчаста	0,2...0,5
Пластівчаста	5...10
Куляста	2...22

Таблиця 2.

Структура металевої основи	Твердість НВ в кгс/мм ²
Феритна	130...150
Феритно-перлітна	200
Перлітна	250

Високоміцні чавуни отримують із звичайного сірого перлітного чавуну шляхом подвійного модифікування: додаванням у рідкий чавун перед розливанням магнію і ферросіліцію. Під дією магнію графіт в процесі кристалізації приймає не пластинчасту, а кулеподібну форму.

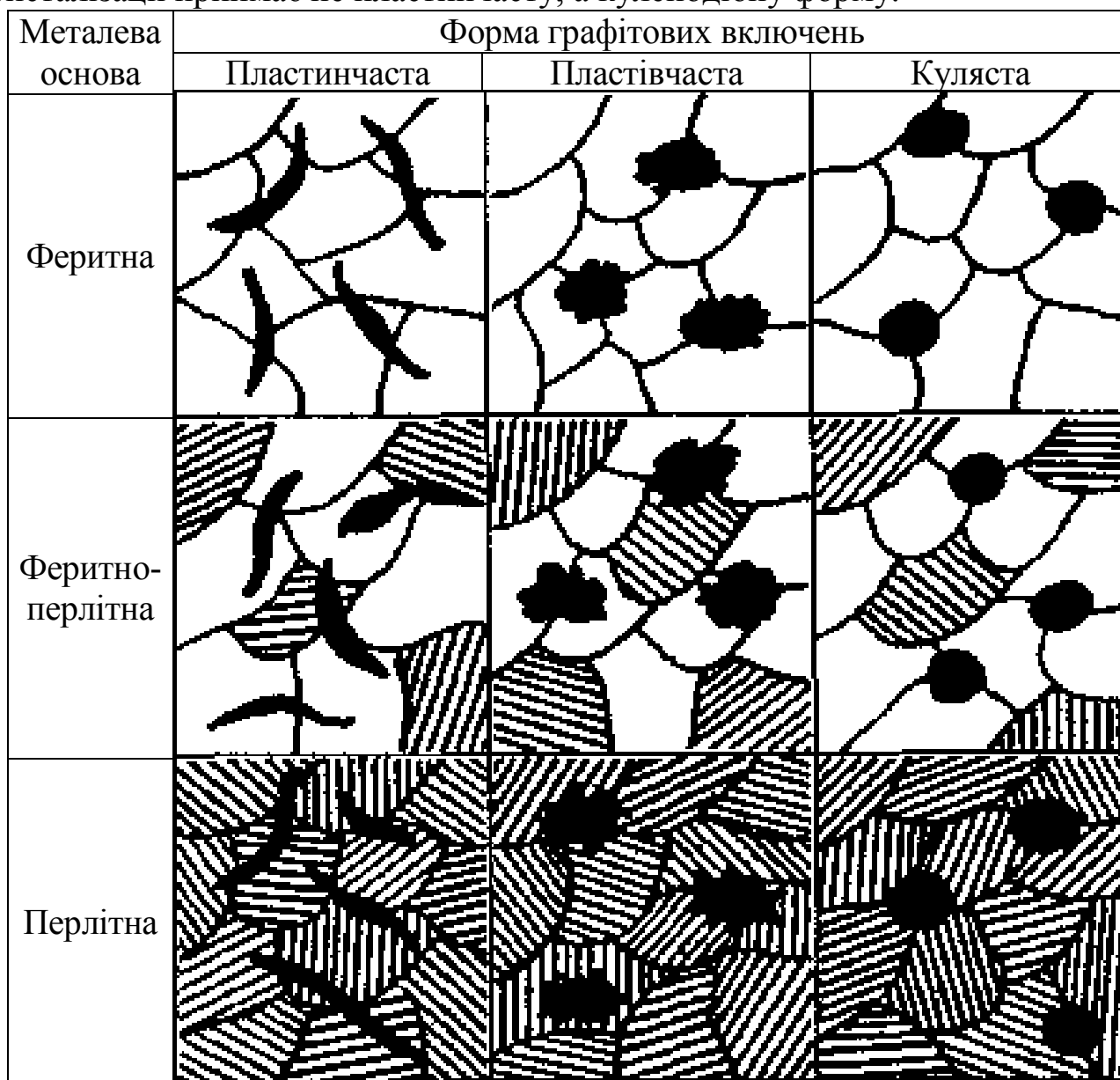


Рис. 2. Форма графіту і мікроструктура чавунів

Кулястий (глобулярний) графіт, що має мінімальну поверхню при даному об'ємі, значно менше, ніж пластинчатий графіт, послаблює металеву основу чавуну, не є активним концентратором напружень. Тому високоміцні чавуни мають високі механічні показники, які не поступаються вуглецевій сталі, зберігаючи при цьому позитивні властивості чавуну: добрі ливарні якості, оброблення різанням, високу стійкість до спрацювання і таке ін. Високоміцні чавуни застосовуються для виготовлення деталей машин, на які діють ударні навантаження, змінні напруження, наприклад пресового обладнання, картерів, втулок, корпусів, насосів, вентилів і т.д.

За ДСТУ 7293 передбачено такі марки високоміцних чавунів: ВЧ39-17, ВЧ42-12, ВЧ45-5, ВЧ60-2, ВЧ70-2, ВЧ80-2, ВЧ100-2, ВЧ120-2.

Перші дві цифри вказують на границю міцності за розтягування (σ_b) в кгс/мм², останні цифри – відносне видовження в %.

Ковкими називають чавуни, в яких увесь або майже увесь вуглець міститься у вільному стані і має пластівцеподібну форму. Отримують його тривалим відпалюванням білого чавуну за високих температур. Залежно від режиму відпалювання отримують чавуни з різною металевою основою. На рис. 3 зображена схема відпалювання.

За температури 950–1000 °С відбувається перша стадія графітизації вторинного цементиту білого чавуну ($\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe}_\gamma(\text{C}) + \text{C}$ (графіт)). Графіт, який утворюється, має пластівцеподібну форму. В процесі охолодження аустеніт, що залишився, перетворюється на перліт, отриманий ковкий чавун має структуру – перліт і графіт.

Якщо після першої стадії графітизації чавун повільно охолодити до температури 700–720 °С, дати тривалу витримку, проходить друга стадія графітизації ($\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe}_\alpha(\text{C}) + \text{C}$ (графіт)). Вторинний цементит перліту перетворюється на графіт. При цьому утворюється феритний ковкий чавун. Якщо процес перервати при другій стадії графітизації, цементит, що входить до складу перліту, розпадається не до кінця, і чавун буде мати феритно-перлітну основу.

Ковкий чавун за технологічними і механічними властивостями займає проміжне положення між сталлю та сірим чавуном. Він має меншу, ніж сталь, чутливість до надрізів і значну величину внутрішнього тертя, більш високі показники (ніж сірі чавуни) границі міцності, відносного видовження, ударної в'язкості. Це дозволяє отримувати із ковких чавунів деталі високої міцності, довготривалості та експлуатаційної надійності. Тонкостінні (7–8 мм) деталі із ковких чавунів витримують гідравлічні тиски до 4 МПа, що дозволяє широко застосовувати цей чавун для деталей водо-, газо- та паропровідних пристроїв.

Із ферметних ковких чавунів марок КЧ37-12, КЧ35-10 виготовляють деталі, що експлуатуються при високих динамічних і статичних навантаженнях: картери редукторів, ступиці, гаки, скоби та ін.

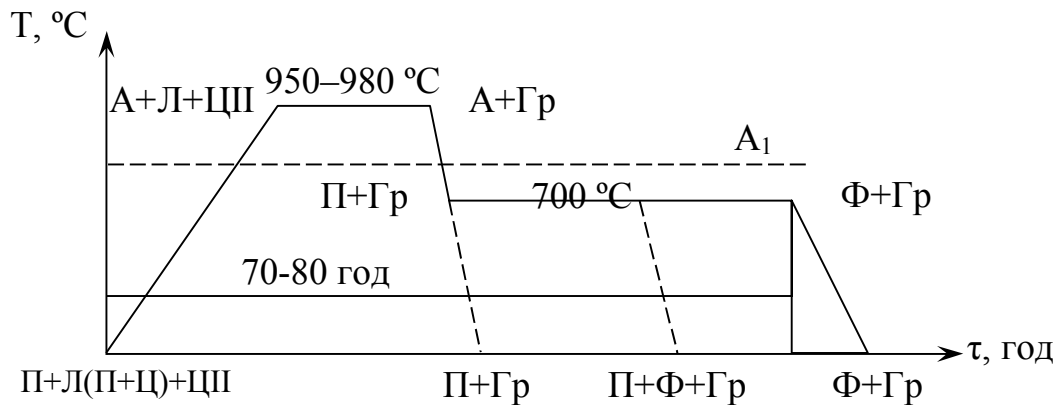


Рис. 3. Графік відпалювання білого чавуну на ковкий

Перлитні чавуни марок КЧ45-7, КЧ50-5 володіють високою міцністю, достатньою пластичністю та добрими антифрикційними властивостями. Із них виготовляють вилки карданних валів, втулки, муфти, гальмівні колодки і т.д.

Порядок виконання та оформлення роботи

1. Вивчити лекційний матеріал та методичні рекомендації по темі.
2. Розглянути та вивчити мікроструктуру білих, сірих, високоміцних та ковких чавунів з різним вмістом вуглецю.
3. Вивчити класифікацію, умови отримання, область застосування і маркування чавунів, а також властивості білого, сірого, високоякісного та ковкого чавунів.
4. Намалювати мікроструктуру білого доевтектичного, евтектичного і заевтектичного сірого, високоміцного і ковкого чавунів на феритній, феритно-перлітній та перлітній основах.
5. Накреслити діаграму відпалювання білого чавуну на ковкий.

Контрольні питання

1. Які форми графіту в чавунах відомі, і яка з них є кращою з точки зору механічних властивостей?
2. Чим відрізняються умови отримання білих і сірих чавунів?
3. Які недоліки і переваги має сірий чавун порівняно зі сталлю?
4. Як отримують високоміцний чавун?
5. Яка форма графіту в ковкому чавуні?
6. Як класифікують чавуни за формою графітних включень і металевій основи?
7. Розшифруйте марки чавунів: СЧ25, ВЧ70, ВЧ100-2, ВЧ80-2, КЧ37-12, КЧ50-5.
8. Які існують чавуни залежно від форми виділення вуглецю в чавунах?
9. Які із цих хімічних елементів є графітізуючими: кремній, молібден, титан, вольфрам, нікель, мідь, сірка, хром, алюміній?
10. Карбідоутворюючі елементи – це Наведіть приклад:

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

ВЛАСТИВОСТІ ТА ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ

Мета роботи: вивчити лінії, точки і області діаграми залізо-цементит, її фази і структури; перетворення в сплавах з різним вмістом вуглецю при нагріванні і охолодженні; застосування правил фаз і відрізків.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Діаграма залізо-цементит (рис. 1) дає уявлення про будову вуглецевих сплавів – сталей і чавунів, та є основою для з'ясування процесів, що проходять при нагріванні і охолодженні залізовуглецевих сплавів (сталей і чавунів). У залізовуглецевих сплавах при нагріванні або охолодженні утворюються такі структурні складові: ферит, аустеніт, цементит, перліт та ледебурит. У таблиці 2 подано характеристику структурних складових залізовуглецевих сплавів.

Чисте електролітичне залізо – це м'який пластичний метал світлого кольору зі щільністю $7,85 \text{ г/см}^3$, температурою плавлення 1539°C . Воно має границю міцності $\sigma_b = 250\ldots 280 \text{ МПа}$, відносне видовження $\delta = 50 \%$, відносне звуження $\psi = 80 \%$, твердість 80 НВ і ударну в'язкість $a_n = 3000 \text{ кДж/м}^2$. Залізо зберігає магнетизм до температури 768°C і є феромагнітним. Під час нагрівання і охолодження в залізі відбуваються одне магнітне перетворення за температури 768°C і два поліморфних за 911 та 1392°C .

Альфа-залізо (Fe_α) існує в двох інтервалах температур: нижче за 911°C та $1392\ldots 1539^\circ\text{C}$. В інтервалі температур $911\ldots 1392^\circ\text{C}$ існує γ -залізо (Fe_γ).

Кристалічні ґратки заліза здатні розчиняти різні елементи, утворюючи з металами розчини заміщення, а з неметалами (С, N, H) – розчини втілення. Розчинність вуглецю в залізі значно залежить від типу кристалічних ґраток заліза і його температури. За кімнатної температури в Fe_α розчиняється $0,006 \%$ С, а за 727°C – $0,025 \%$ С. Твердий розчин вуглецю в Fe_α називають феритом (ліва частина діаграми від 0 до 911°C (QPG)).

Цементит – хімічна сполука вуглецю з залізом (Fe_3C – карбід заліза), що утворюється при відповідному стехіометричному співвідношенні атомів заліза і вуглецю. Це найтвердіша (800 НВ) і дуже крихка фаза в сплавах залізо – вуглець, яка містить $6,67 \%$ С. Щільність цементиту $7,82 \text{ г/см}^3$, температура плавлення 1250°C . Цементит феромагнітний до температури 217°C і здатний утворювати тверді розчини заміщення. Атоми вуглецю в кристалічній орторомбічній ґратці цементиту (рис. 0) можуть заміщатися атомами азоту, кисню, а атоми заліза – атомами мангану, хрому, вольфраму та іншими металами. Цементит – нестійка хімічна сполука, яка під час нагрівання розпадається з утворенням вуглецю у вигляді графіту.

При аналізі розглядаються лінії і точки діаграми (табл. 1 і 3), застосовуються правила фаз та відрізків.

Для визначення ступеня вільності використовують закон Гібса за рівнянням: $S=K-\Phi+n$, де K – кількість компонентів; Φ – кількість фаз; $n=1$ – кількість зовнішніх чинників (температура).

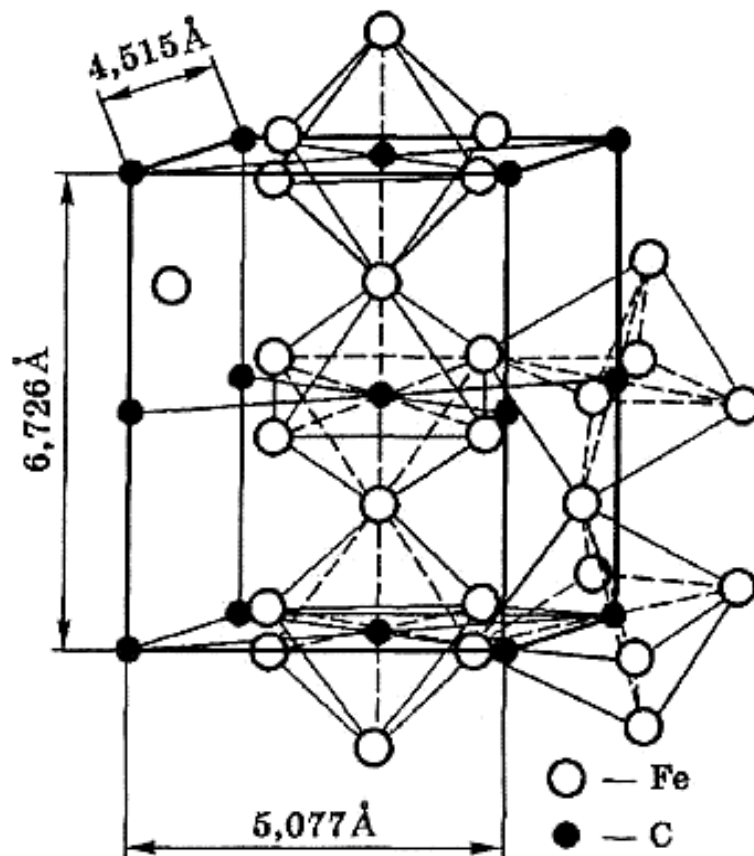


Рис. 0. Кристалічна орторомбічна ґратка цементиту

Вище лінії $ABCD$ всі сплави знаходяться в рідкому стані і число ступенів волі $C=K-\Phi+1=2-1+1=2$ (див. рис. 1). Це означає, що сплави можна нагрівати і охолоджувати, змінювати їх концентрацію і вони залишаються рідкими в стані рівноваги.

Між лініями ABC та $AHJEC$ і лініями CD та CF сплави двофазні, складаються із твердої фази і рідини, при цьому число ступенів волі дорівнює $C=2-2+1=1$ (табл. 1). Із вищевикладеного виходить, що система в даних областях має один ступінь волі і для зберігання її рівноваги можна змінювати лише один фактор рівноваги - температуру або концентрацію. Дві фази і один ступінь волі є також у всіх інших областях діаграми окрім аустенітної, де між лініями $NHJEC$ і GSE система однофазна і має два ступеня волі $C=2-1+1=2$.

На горизонтальних лініях ECF і PCK система трифазна і число ступенів волі $C=2-3+1=0$ (див. табл. 1). На лінії ECF за охолодження утворюється ледебурит, а на лінії PSK – перліт. Нульовий ступінь волі на цих лініях обумовлює суворо постійні температури при утворенні ледебуриту ($1147\text{ }^{\circ}\text{C}$) і перліту ($727\text{ }^{\circ}\text{C}$). Із таблиці 3 видно, що дві фази і один ступінь волі мають усі криві лінії і точки A, D, G, Q ; три фази і нульовий ступінь волі – точки P, S, E, C ; в точках K і F фазових перетворень немає.

Правилом відрізків або правилом важеля користуються для визначення відсоткового і вагового складу рідкої і твердої фаз або двох різних твердих фаз (кількість структурних складових та їх концентрації).

Для цього, наприклад, із точки b (рис. 2) проводять горизонталь до ліній GP і GS . Проекція точки a на вісь концентрацій показує вміст вуглецю в фериті, а проекція точки c – вміст вуглецю в аустеніті за певної температури.

Для визначення кількісного відношення аустеніту і фериту необхідно скласти обернено пропорційне відношення відрізків: $\frac{Q_{фер}}{Q_{ауст}} = \frac{bc}{ab}$,

де $Q_{фер}$ – кількість фериту; $Q_{ауст}$ – кількість аустеніту для температури, що відповідає точці b .

Нехай у точці b маса всього сплаву становить 100 %, тоді $Q_{фер}/(100 - Q_{фер}) = \frac{bc}{ab}$. Підставляючи значення відрізків bc і ab , що визначені з діаграми стану, можна вирахувати кількість фериту, а потім і кількість аустеніту.

Візьмемо для прикладу сплав із вмістом вуглецю 2,7 % та визначимо відсотковий і ваговий склад рідкої і твердої (аустеніт) фаз, кількість структурних складових та їх концентрації за температури = 1250 °C (рис. 1 а).

Для цього через точку b (див. рис. 1, а) проводимо горизонтальну лінію до перетину її з лініями ABC і JE , що обмежують зону діаграми $Fe - Fe_3C$, отримавши на них точки a і c . Проекція точки b на вісь концентрації покаже вміст вуглецю в сплаві K_2 , проекція точки a – вміст вуглецю в аустеніті, а проекція точки c – у рідкій фазі (L) за заданої температури. При зміні температури сплаву K_2 , зміниться концентрація вуглецю у відповідних фазах (аустеніті і рідкій фазі).

Отже, отримаємо $a = 1,4 \%C$, $b = 2,7 \%C$, $c = 3,6 \%C$.

Щоб визначити кількісне співвідношення аустеніту і рідкої фази (кількості фаз) у точці b , потрібно взяти співвідношення відрізків ab і bc зворотно пропорційно кількостям цих фаз для сплаву K_2 : $\frac{Q_p}{Q_{ауст}} = \frac{bc}{ab}$;

кількість аустеніту $Q_{Ауст}$ за рівнянням: $Q_{Ауст} = \frac{bc}{ac} \cdot 100\%$;

а кількість рідкої фази Q_p за рівнянням: $Q_p = \frac{ab}{ac} \cdot 100\%$.

Отже

$$Q_{Ауст} = \frac{3,6 - 2,7}{3,6 - 1,4} \cdot 100\% = \frac{0,9}{2,2} \cdot 100\% = 41\%,$$

$$Q_p = \frac{2,7 - 1,4}{3,6 - 1,4} \cdot 100\% = \frac{1,3}{2,2} \cdot 100\% = 59\%.$$

Знайдемо концентрацію кожної фази: аустеніт складається з 1,4 %C та 98,6 % Fe; рідина складається 3,6 %C та 96,4 % Fe.

Користуючись правилом фаз (законом Гіббса), побудуємо криву охолодження для сплаву K_1 і криву нагрівання для сплаву K_2 , виходячи з діаграми стану $Fe - Fe_3C$ (див. рис. 1, а). Наприклад, у процесі охолодження сплаву K_1 діаграми стану $Fe - Fe_3C$ у точці 1 на лінії ABC (див. рис. 1) із рідкої фази L виділяються кристали аустеніту, що фіксуємо, зносячи точку 1 на систему координат температура – час (див. рис. 1,б).

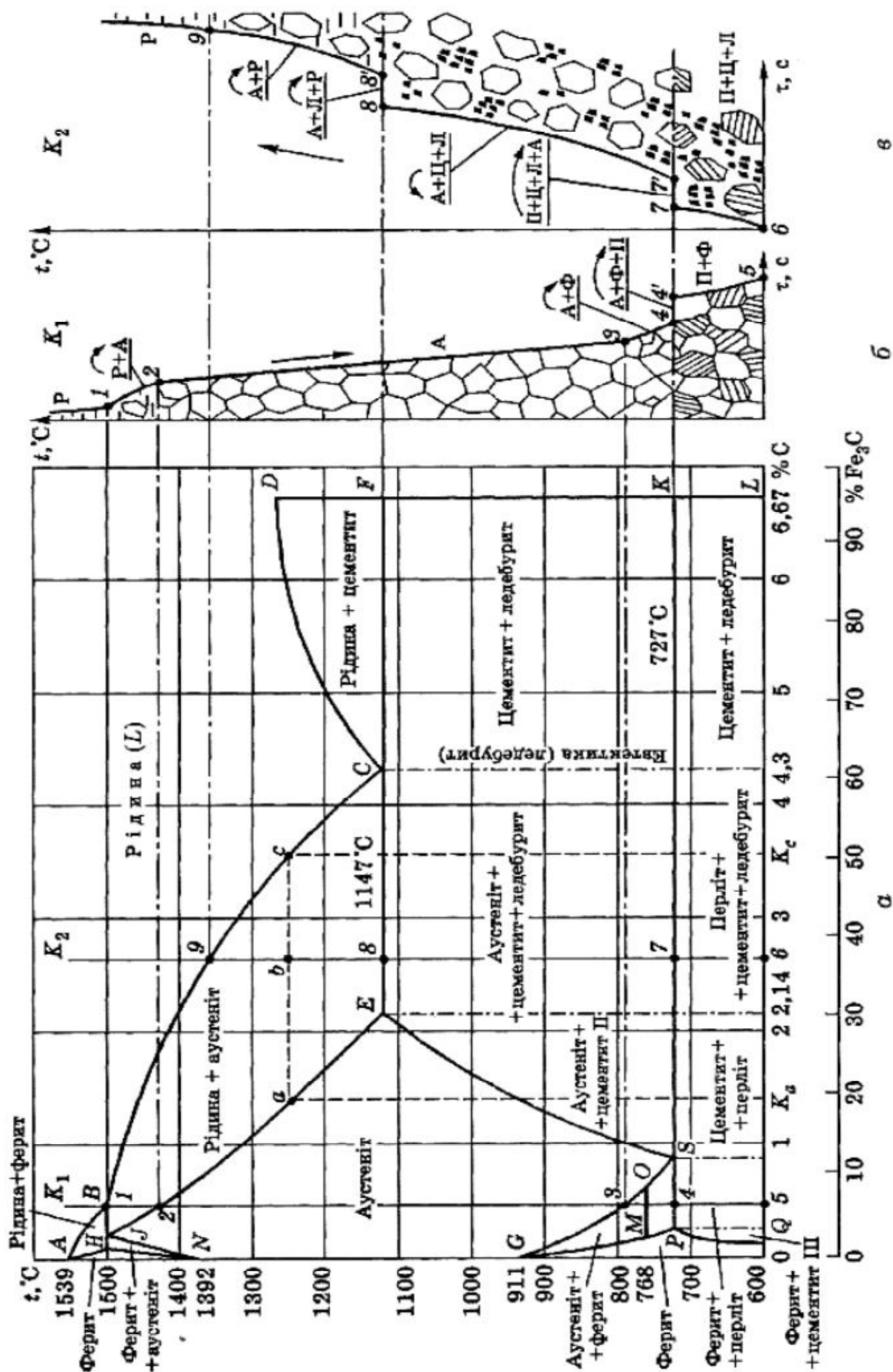


Рис. 1. Діаграма стану залізо-цементит (а); крива охолодження сплаву К1 (б); крива нагрівання сплаву К2 (в)

Так само переносимо точки 2, 3 і 4, які відповідають фазовим перетворенням, що відбуваються в сплаві K_1 у процесі його кристалізації.

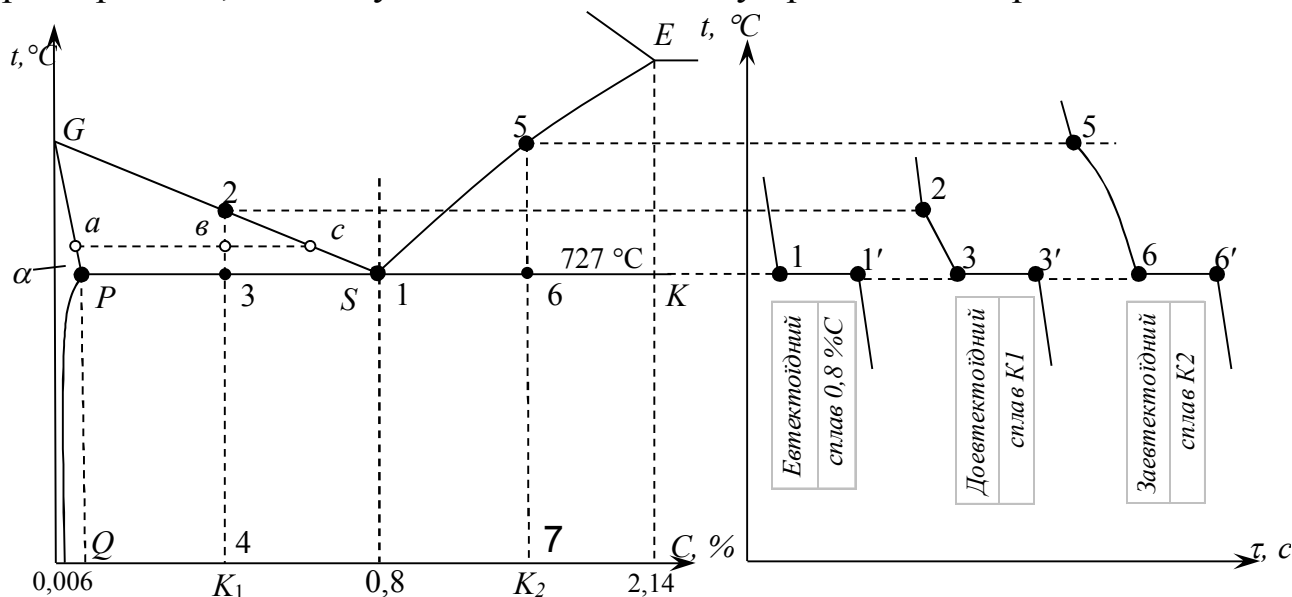


Рис. 2. Частина діаграми залізо-цементит. Вторинна кристалізація сталей.

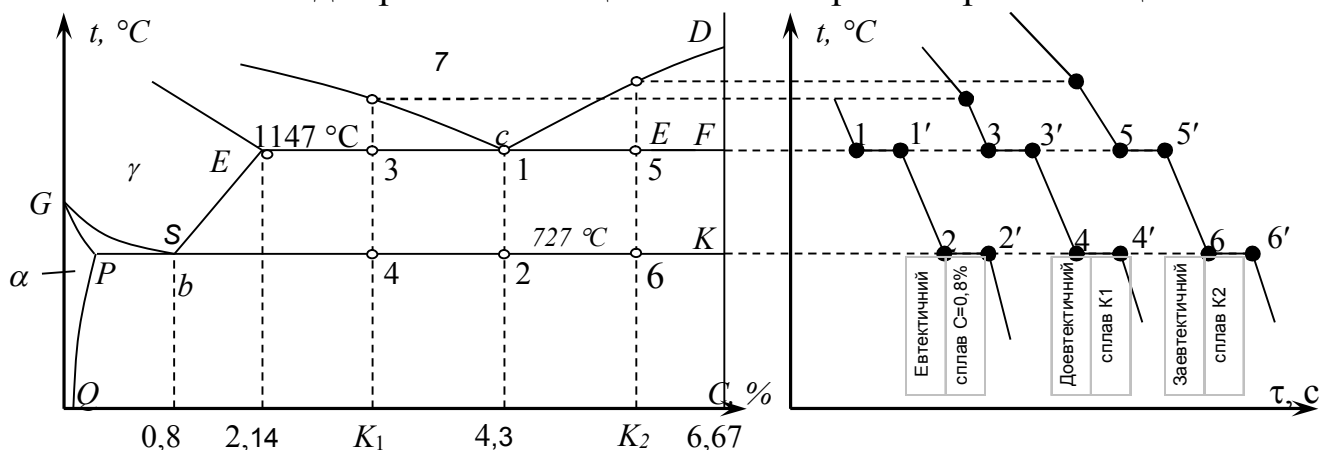


Рис. 3. Діаграма залізо-цементит. Вторинне перетворення у високо вуглецевих сплавах (чавунах).

Згідно з правилом фаз, у точці 4 процес кристалізації відбувається ізотермічно (за конкретної температури і впродовж певного часу), що фіксується горизонтальною лінією 4 – 4'. Криву нагрівання сплаву K_2 , яку побудовано за правилом фаз, наведено на рис. 1, в.

За діаграмою залізо-цементит можна побудувати криві охолодження. Для цього точки перетину вертикалі з лініями діаграми (рис. 1 б, в, 2 і 3), яка позначає сплав визначеної концентрації, переносять на систему координат температура-час і будують криву нагрівання або охолодження цього сплаву. Точки перетину з кривими лініями діаграми відповідають перегинам на кривих охолодження і нагрівання, а точки перетину з горизонтальними лініями відповідають площинкам на тих же кривих.

Таблиця 1.

Фазові перетворення на лініях за діаграмою залізо-цементит

Позначення ліній	Фазові перетворення на лініях (при охолодженні)	Перелік фаз	Кількість фаз	Число ступенів волі
BC	Початок виділення аустеніту Fe_γ з рідини	Аустеніт + рідина	2	1
JE	Кінець виділення аустеніту Fe_γ з рідини	Аустеніт + рідина	2	1
AB	Початок виділення фериту Fe_δ з рідини	Ферит + рідина	2	1
АН	Кінець виділення фериту Fe_δ з рідини	Ферит + рідина	2	1
HN	Початок виділення аустеніту Fe_γ з фериту Fe_δ	Аустеніт + ферит	2	1
NJ	Кінець виділення аустеніту Fe_γ з фериту Fe_δ	Аустеніт + ферит	2	1
HJD	Перетворення рідини в аустеніт Fe_γ та ферит Fe_δ	Аустеніт + цементит + рідина	3	0
EC	Кінець виділення аустеніту Fe_γ з рідини і утворення ледебуриту	Аустеніт + цементит + рідина	3	0
CD	Початок виділення цементиту Fe_3C (первинного) з рідини	Рідина + цементит	2	1
CF	Кінець виділення цементиту Fe_3C (первинного) з рідини і утворення ледебуриту із рідини	Рідина + цементит + аустеніт	3	0
ECF	Утворення ледебуриту із рідини	Рідина + аустеніт + цементит	3	0
GS	Початок виділення фериту Fe_β з аустеніту Fe_γ	Аустеніт + ферит	2	1
GM	Кінець виділення фериту Fe_β з аустеніту Fe_γ	Аустеніт + ферит	2	1
MP	Кінець виділення фериту Fe_α з аустеніту Fe_γ	Аустеніт + ферит	2	1
PS	Кінець виділення фериту Fe_β з аустеніту Fe_γ і утворення перліту із аустеніту Fe_γ	Аустеніт + ферит + цементит	3	0
PSK	Утворення перліту із аустеніту Fe_γ	Аустеніт + ферит + цементит	3	0
SE	Початок виділення цементиту Fe_3C (вторинного) із аустеніту Fe_γ	Аустеніт + цементит	2	1
SK	Кінець виділення цементиту Fe_3C (вторинного) із аустеніту Fe_γ і утворення перліту із аустеніту Fe_γ	Аустеніт + цементит + ферит	3	0
PQ	Початок виділення цементиту Fe_3C (третинного) із фериту Fe_α	Ферит + цементит	2	1
MO	Лінія магнітного перетворення, яке відбувається при $768^\circ C$ для сплавів до 0,6%С, фериту $Fe_\beta \rightarrow$ фериту Fe_α	Аустеніт + ферит	2	1

Таблиця 2.

Характеристика структурних складових залізовуглецевих сплавів (сталей і чавунів).

Назва структури	Тип структури	Зміст вуглецю, %	Число фаз	Механічні властивості			Характеристика структури
				σ_B , кгс/мм ²	δ , %	НВ, кгс/мм ²	
Ферит	Твердий розчин вуглецю в α -залізі з обмеженою розчинністю	Від 0,006 (при 0°C) до 0,025 (при 727°C)	1	30	40	80...100	Пластична але не міцна
Аустеніт	Твердий розчин вуглецю в γ -залізі з обмеженою розчинністю	Від 0,8 (при 727°C) до 2,14 (при 1147°C)	1	60	60	180...200	Дуже пластична
Цементит	Хімічне з'єднання заліза з вуглецем (Fe_3C)	6,67	1	200	0	800	Дуже тверда і крихка
Перліт	Механічна суміш фериту і цементиту	0,80	2	60	20	200	Середні міцність і пластичність
Ледебурит	Механічна суміш перліту і цементиту (до 727 °C), аустеніт і цементит (від 727 до 1147 °C)	4,30	2	100	1...2	450...500	Тверда і крихка

Таблиця 3.

Фазові перетворення в точках за діаграмою залізо-цементит.

Позна- чення точок	Фазові перетворення в точках (при нагріванні та охолодженні)	Зміст вуглецю, %	Температура відповідно точкам, °C	Перелік фаз	Кількість фаз	Число ступенів волі	Заува- ження
A	Температура плавлення і кристалізації чистого заліза	0	1539	Рідина + кристали заліза	2	-	Правило фаз Гіббса до одно-компонентних систем не застосовується
D	Температура плавлення і кристалізації цементиту	6,67	1600	Рідина + цементит (первинний)	2	-	
C	Плавлення і утворення ледебуриту	4,30	1147	Рідина + цементит + аустеніт	3	0	
E	Максимальне розчинення вуглецю в аустеніті	2,14	1147	Рідина + аустеніт + цементит	3	0	
S	Мінімальне розчинення вуглецю в аустеніті	0,80	727	Аустеніт + ферит + цементит	3	0	
G	Перетворення α -заліза в γ - залізо або γ - заліза в α - залізо	0	911	α -залізо + γ -залізо	2	-	
P	Максимальне розчинення вуглецю в α - залізі	0,025	727	Аустеніт + цементит (вторинний) + ферит	3	0	
Q	Мінімальне розчинення вуглецю в α - залізі	0,006	0	Ферит + цементит (третинний)	2	1	
K	Немає фазових перетворень	6,67	727	Цементит (первинний)	1		
F	Немає фазових перетворень	6,67	1147	Цементит (первинний)	1		
M	Магнітне перетворення	0	768	Чисте залізо	1		

Порядок виконання роботи

1. Вивчити структурні складові діаграми залізо-цементит за вмістом вуглецю, числом фаз, кристалічними ґратками і властивостям.
2. Вивчити структурні перетворення залізовуглецевих сплавів за діаграмою залізо-цементит при нагріванні і охолодженні.
3. Виробити навички по застосуванню до діаграми залізо цементит правила фаз і правила відрізків з поясненням умов для зберігання сплавів у рівноважному стані. Навчитися визначати відсотковий і кількісний склад сплавів.
4. Набути навичок викреслювання кривих охолодження і нагрівання за діаграмою стану сплавів із застосуванням правила фаз Гіббса.

Зміст звіту

У звіт необхідно внести: схему діаграми стану сплавів залізо-цементит, опис фаз, структур залізовуглецевих сплавів і їх властивостей; дві криві охолодження для сталі і чавуну з будь-яким вмістом вуглецю, побудова за діаграмою залізо-цементит; опис на підставі цих кривих фазових перетворень, що проходять у сплавах за нагрівання та охолодження, із застосуванням правила фаз і правила відрізків.

Контрольні питання

1. Побудувати криві охолодження для сплавів із вмістом вуглецю 0,3%; 0,8%; 1,2%; 3%; 4,3%; 5% і проаналізувати ці сплави.
2. Визначити в точці 2,3% вуглецю за температури 1200 °С співвідношення (кількість) фаз, що знаходяться в рівновазі, а також їх хімічний склад (кількість вуглецю і заліза).
3. Визначити за правилом фаз Гіббса варіантність системи в точці 4,1% вуглецю за температури 950 °С.
4. Які фазові перетворення відбуваються на лінії PSK за діаграмою залізо-цементит.
5. Дайте визначення ледебуриту, з яких фаз він складається та при якій температурі відбувається евтектоїдне перетворення?
6. Які фазові перетворення відбуваються в точках S, P і E за діаграмою залізо-цементит?

Контрольні питання до захисту модуля

Матеріалознавство

1. Який метод визначення твердості слід застосувати при визначенні твердості загартованих деталей?
2. Яка розмірність твердості, що визначається різними способами?
3. Що називається твердістю матеріалу?
4. Як визначають твердість матеріалу за методом Брінеля?
5. Як визначають твердість матеріалу за методом Роквелла?
6. Які переваги і недоліки методу Брінеля?
7. Чому дорівнює твердість маловуглецевої сталі, якщо твердість за Брінелем $HV=180 \text{ кгс/мм}^2$?
8. Чому дорівнюють 4 великі поділки на шкалі лупи мікроскопа за методом Брінеля?
9. Що означає запис $HRC=80$. (який метод, для яких металів, який індентор, яке основне навантаження, що означають позначки H, R і C).
10. Вивести розрахункову формулу для метода Брінеля через діаметр відбитка.
11. Що називають макроструктурним аналізом?
12. Які основні методи макроструктурного аналізу і які дефекти можна виявити?
13. Що таке метод Баурмана?
14. Як визначити ліквацію фосфору в сталі?
15. Що таке сталь?
16. Яка максимальна кількість вуглецю в сталях, що застосовуються на практиці?
17. Як класифікується сталь за структурою та кількістю вуглецю в ній?
18. Яка із названих вище марок сталей є конструкційні? Сталь 30, У 13, А-20, Ст. 3, Ст. 65, Сталь 45А, У13, У9А, Ст. 6, В Ст3пс.
19. Що таке червоноламкість сталі і чим вона викликана?
20. Від чого залежить структура і механічні властивості сталі?
21. Із яких сталей виготовляють дрібний інструмент – мітчики, плашки, розгортки?
22. Як позначається підвищений вміст марганцю в сталі?
23. Що таке холодноламкість і гарячолламкість?
24. Розшифруйте марки сталей: Сталь 45, Сталь 5, У 11, У 9А, Сталь 60Г.
25. Побудувати криві охолодження для сплавів із вмістом вуглецю 0,3%; 1,2%; 4,3%; проаналізувати ці сплави.
26. Побудувати криві охолодження для сплавів із вмістом вуглецю 0,8%; 3%; 5 % і проаналізувати ці сплави.
27. Побудувати криві охолодження для сплавів із вмістом вуглецю 0,2%; 1%; 4% і проаналізувати ці сплави.
28. Поясніть кристалічну будову металів. Наведіть основні типи кристалічних ґрат.

29. Чим відрізняється будова реальних кристалів від ідеальних (чистих)?
30. У чому полягає механізм процесу кристалізації сплавів?
31. Відобразіть основні типи діаграм стану. Поясніть їх теоретичне і практичне значення.
32. Хто з учених вважається основоположником діаграми залізо-вуглець?
33. Накресліть діаграму залізо-вуглець і покажіть, які структури існують у рівноважному стані у залізівуглецевих сталей за різних температур.
34. Наведіть класифікацію і маркування сталей і чавунів за ДСТУ.
35. Які величини характеризують механічні властивості залізівуглецевих сплавів і як вони визначаються?
36. Що називається міжзерний зломом?
37. Що таке транскристалічний злам?
38. Розшифруйте марки сталей: 30ХН3А, 15Х2ГН2ТА, 12Х18Н1Т, 10Г2, У12Х5ВФ, Р6М5.
39. Визначить у точці 2,3 % вуглецю за температури 1200 °С співвідношення (кількість) фаз, що перебувають у рівновазі, а також їх хімічний склад (кількість вуглецю і заліза).
40. Визначить за правилом фаз Гібса варіантність системи в точці 4,1 % вуглецю за температури 950 °С.
41. Які фазові перетворення відбуваються на лінії PSK за діаграмою з Fe–Fe₃C.
42. Дайте визначення ледебуриту?
43. Які фазові перетворення відбуваються в точках М, Р і Е за діаграмою Fe–Fe₃C?
44. Визначить у точці 0,3 % вуглецю за температури 768 °С співвідношення (кількість) фаз, що перебувають у рівновазі, а також їх хімічний склад (кількість вуглецю і заліза).
45. Визначить за правилом фаз Гібса варіантність системи в точці 0,6 % вуглецю за температури 1200 °С.
46. Які фазові перетворення відбуваються на лінії ECF за діаграмою Fe–Fe₃C.
47. Дайте визначення цементиту?
48. Які фазові перетворення відбуваються в точках G, А і Q за діаграмою з Fe–Fe₃C?
49. Визначить у точці 1,3 % вуглецю за температури 750 °С співвідношення (кількість) фаз, що перебувають у рівновазі, а також їх хімічний склад (кількість вуглецю і заліза).
50. Визначить за правилом фаз Гібса варіантність системи в точці 2,2 % вуглецю за температури 730 °С.

ЛІТЕРАТУРА

1. Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник. Київ : Вища освіта, 2012. 548 с.
2. Власенко А. М. Матеріалознавство та технологія металів : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Власенко. Київ : Літера ЛТД, 2019. 224 с.
3. Гуляев А. П. Металловедение : учеб. пос. / А. П. Гуляев. Москва : Металлургия, 1986. 544 с.
4. Гуляев А. П. Термическая обработка стали. Москва, Машгиз, 2003. 384 с.
5. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов : учеб. пособие / Ю. М. Лахтин. Москва : Машиностроение, 1989. 359 с.
6. Марченко С. В. Технологія конструкційних матеріалів [Текст]: навч. посіб. / С.В. Марченко, О.П. Гапонова, Т.П. Говорун, Н.А. Харченко. Суми: СумДУ, 2016. 146 с.
7. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум: посібник для вищих навчальних закладів IIIIV рівнів акредитації/ Авт. колектив: Опальчук А.С., Котречко О.О., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є., Роговський І.Л. НУБіП, 2015. 428 с.
8. Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук. Навчальний посібник / А. Степанчук. Центр навчальної літератури. Київ : 2020. 336 с.
9. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях): навч. посіб. / Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, С.В. Марченко. Суми: СумДУ, 2020. 163 с.
10. Марченко С.В. Основи виробництва матеріалів та формоутворення об'єктів технологій : навч. посіб. / С.В. Марченко, А.Ф. Будник, В.Б. Юскаєв. Суми: СумДУ, 2013. 242 с.
11. Опальчук А.С., Котречко О.О., Роговський Л.Л. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства: Навч. Посібник / За ред. А.С. Опальчука. Київ : Вища освіта, 2006. 287 с.

12. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению : учеб. пособие / под. ред. С. С. Некрасова. Москва : Агропромиздат, 1991. 287 с.
13. Солнцев Ю. П. Металловедение и технология металлов : учеб. пособие / Ю. П. Солнцев, В. А. Веселов, В. П. Демянцевич. Москва : Металлургия, 1988. 512 с.
14. Сушко О.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010. 232 с.
15. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів. Навчальний посібник / Г. П. Кислая, П.І. Лобода, В. Е. Федорчук, Вячеслав Сысоев. Київ : Центр навчальної літератури, 2018. 320 с.
16. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство (обробка металів різанням) : Пахаренко В.Л., Марчук М.М., Пахаренко О.В. Рівне : 2018. 252 с.
17. Технология металлов и конструкционных материалов : учеб. пособие / [Скобников К. М., Глазов Г. А., Петраш Л. В. и др.]. Ленинград : Машиностроение, 1972. 520 с.
18. Технология металлов : учебник / под ред. Б. В. Кнорозова. Москва : Металлургия, 1978. 880 с.
19. Технология металлов и материаловедение : учебник / под ред. Л. Ф. Усовой. Москва : Металлургия, 1987. 800 с.
20. Технология конструкционных материалов : учеб. пособие / под ред. А. М. Дальского. Москва : Машиностроение, 1990. 352 с.
21. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / за ред. М. А. Сологуба. Київ : Вища школа, 1993. 300 с.
22. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов. Москва : Высшая школа, 2002. 637 с.

**Підрахунок рейтингової оцінки успішності здобувачів вищої освіти групи по дисципліні «Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів»
модуль 1 - «Матеріалознавство»**

Модуль №			Модуль №1												
Знач. модуля, %			100												
№ п/п	Прізвище, Ім'я, по-Батькові	Виконання	Лекція	Тест №1	Практична робота №1	Тест №2	Практична робота №2	Тест №3	Практична робота №3	Тест №4	Практична робота №4	Практична робота №5	Контрольна робота	РГР №1	Σ балів за модуль
		план		10	10	5	5	10	10	5	5	10	15	15	100
		мін		6	6	3	3	6	6	3	3	6	9	9	60
1		факт													

У таблиці наведена максимальна можлива кількість балів по кожному з модулів. Загальна оцінка заліку “зараховано” виставляється, якщо рейтингова оцінка 60 або більше балів по кожному модулю. Загальна оцінка за екзамен виставляється, якщо рейтингова оцінка 60 або більше балів (60–100) за національною шкалою, за шкалою навчального закладу три і більше (чотири, п'ять) і за шкалою ESTS E і більше (D, C, B, A).

Сума балів за всі види освітньої діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 - 100	A	5 (відмінно) 4 (добре) 4(добре) 3 (задовільно) 3 (задовільно)
82 - 89	B	
75 - 81	C	
64 - 74	D	
60 - 63	E	
35 - 59	FX*	не зараховано з можливістю повторного складання 2 (незадовільно)*
0 - 34	F*	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни 2 (незадовільно)*

*Оцінки FX та F у залікову книжку здобувача вищої освіти не виставляється відповідно до Положення про організацію освітнього процесу у МНАУ.

ДОДАТКИ

Додаток до практичної роботи 1.

Таблиця 1.

Числа мікротвердості, МПа, при навантаженні на алмазну піраміду, 0,0196 Н (20 г).

Діагональ відбитка	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	23180	14840	10300	7570	5800	4580
10	3710	3070	2580	2190	1890	1650	1450	1280	1140	1030
20	927	841	766	701	644	594	549	509	473	441
30	412	386	362	341	321	303	286	271	257	214
40	232	221	210	201	192	183	175	168	161	154
50	148	143	137	132	127	123	118	114	110	107
60	103	100	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця 2.

Числа мікротвердості при навантаженні на алмазну піраміду 0,490Н (50г)

Діагональ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	37100	25750	18920	14490	11450
10	9270	7660	6440	5490	4730	4120	3620	3210	2860	2570
20	2320	2100	1920	1750	1610	1480	1370	1270	1180	1250
30	1030	965	906	852	802	757	716	677	642	610
40	580	552	526	502	579	458	438	420	403	386
50	371	356	343	330	318	306	296	285	276	266
60	258	249	241	234	226	220	213	206	201	19.5
70	189	184	179	174	169	165	161	156	152	149
80	145	141	138	135	131	128	125	122	120	117
90	114	112	110	107	105	103	101	-	-	-

Таблиця 3.

Числа мікротвердості при навантаженні на алмазну піраміду, 0,981Н (100г)

Діагональ відбитка, мкм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	-	-	37840	28970	22890
10	18540	15330	12880	10970	9460	8240	7240	6420	5720	5140
20	4640	4210	3830	3510	3220	2970	2740	2540	2360	2210
30	2060	1930	1810	1700	1600	1510	1430	1350	1280	1220
40	1160	1100	1050	1000	958	916	876	840	805	772
50	742	713	686	660	636	613	591	571	551	533
60	515	498	482	467	453	439	426	413	401	390
70	378	368	358	348	339	330	321	313	305	297
80	290	283	276	269	263	257	251	245	240	234
90	229	224	219	214	210	205	201	197	193	189
100	185	182	178	175	171	168	165	162	159	156
110	153	151	148	145	143	140	138	135	133	131
120	129	127	125	123	121	119	117	115	113	111
130	110	108	106	105	103	102	100	-	-	-

Хімічні реактиви для виявлення макроструктури і мікроструктури сплавів

Сплави	Склад реактивів і режим травлення	Примітка
Для глибокого травлення сталей		
Для всіх сталей, крім сталей з особливими властивостями	Соляна кислота 100 мл, вода 100 мл; t=60–80 °C; τ=5–45 хв	Після травлення шліф промивають водою, а потім 10–15 процентним розчином нітратної кислоти
	Соляна кислота 100 мл, нітратна кислота 10 мл, вода 100 мл; t=60–70 °C; τ=5–10 хв	Те саме
	Соляна кислота 100 мл, нітратна кислота 100 мл, вода 100 мл, K ₂ Cr ₂ O ₇ 11–12 г; t=20 °C; τ=5–10 хв	Після травлення шліф промивають водою, а потім 5–10 процентним розчином K ₂ Cr ₂ O ₇
Для поверхневого травлення сталей		
Для всіх сталей	Реактив Гейна: 53 г NH ₄ Cl ₂ , 85 г CuCl ₂ , 1000 мл вода; t=20 °C; τ=0,5–1,0 хв	Мідний осад на поверхні макрошліфа змити ватою під струменем води
	Реактив Баумана: 5-ти процентний водний розчин H ₂ SO ₄ ; t=20 °C; τ=3–14 хв	Бромосрібний фотопапір, змочений у реактиві, прикладається до поверхні макрошліфа
Для поверхневого травлення сплавів міді		
Для всіх сплавів	10-ти процентний розчин пероксиду водню в насиченому водному розчині аміаку; t=20 °C; τ=1–5 хв	Після травлення макрошліф промивають водою, занурюють на 1–2 сек. у 50–ти процентний розчин HNO ₃ з наступним промиванням гарячою водою, а потім у 10–15 процентному водному розчині NaOH
	10–20% (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ ; t=20°C; τ=1–5 хв	
Для поверхневого травлення алюмінієвих сплавів		
Для всіх сплавів	Соляна кислота 40 мл, нітратна кислота 40 мл; t=20 °C; τ=1–10 хв	Після травлення промивають водою
	Плавикова кислота 10 мл, вода 150 мл; t=20 °C; τ=5–10 хв	
	Нітратна кислота 4 мл, плавикова кислота 4 мл, 10–ти процентний розчин жовтої кров'яної солі 4 мл, пероксиду водню (30 процентний) 2мл, вода 1000 мл; t=20°C;τ=5–10хв	
Для поверхневого травлення нікелевих сплавів		
Для всіх сплавів	FeCl ₃ – 10 г, соляна кислота 30 мл, H ₂ O – 120 мл; t=20 °C; τ=1–10 хв	Після травлення промивають водою

Механічні властивості сталей групи А.

Марка сталі	σ_b , МПа	σ_t , МПа, для товщини в мм				δ , %, для товщини в мм			Вигин на 180° для товщини до 20 мм
		до 20	21-40	41-100	>100	20	21-40	>40	
Ст0	>300	-	-	-	-	23	22	20	d=2a
Ст1кп	300-390	-	-	-	-	35	34	32	d=0,5a
Ст1пс, Ст1сп	310-410	-	-	-	-	34	33	31	d=0,5a
Ст2кп	320-410	215	205	195	185	33	32	30	d=a
Ст2пс, Ст2сп	330-430	225	215	205	195	32	31	29	d=a
Ст3кп	360-460	235	225	215	195	76	26	24	d=a
Ст3пс, Ст3сп	370-480	245	235	225	205	26	25	23	d=a
Ст3Гпс	370-490	245	235	225	205	26	25	23	d=a
Ст3Гсп	390-570	-	245	-	-	-	24	-	d=a
Ст4кп	400-510	255	245	235	225	25	24	22	d=2a
Ст4пс, Ст4сп	410-530	265	255	245	235	24	23	21	d=2a
Ст5пс, Ст5сп	490-630	285	275	265	255	20	19	17	d=3a
Ст5Гсп	450-590	285	275	265	255	20	19	17	d=3a
Ст6сп, Ст6сп	>590	315	305	295	295	15	14	12	-

а - товщина зразка, мм; d - діаметр оправлення

Таблиця 2.

Хімічний склад сталей групи Б, % (ГОСТ 380 - 71)

Марка сталі	Вуглець, С	Кремній, Si	Марганець, Mn
БСт0	$\geq 0,23$	-	-
БСт1кп	0,06-0,12	$\geq 0,05$	0,25-0,5
БСт1пс		0,05-0,17	
БСт1сп		0,12-0,3	
БСт2кп	0,09-0,15	$\geq 0,07$	
БСт2пс	0,09-0,15	0,05-0,17	
БСт2сп		0,12-0,3	
БСт3кп	0,14-0,22	$\geq 0,07$	0,3-0,6
БСт3пс		0,05-0,17	0,4-0,65
БСт3сп		0,12-0,3	
БСт3Гпс	0,14-0,2	$\geq 0,15$	0,8-1,1
БСт3Гсп		0,12-0,3	
БСт4кп	0,18-0,27	$\geq 0,07$	0,4-0,7
БСт4пс		0,05-0,17	
БСт4сп		0,12-0,3	
БСт5пс	0,28-0,37	0,05-0,17	0,5-0,8
БСт5сп		0,15-0,35	
БСт5Гпс	0,22-0,3	$\geq 0,15$	0,8-1,2
БСт6пс	0,38-0,49	0,05-0,17	0,5-0,8
БСт6сп		0,15-0,35	

Примітка 1. У сталі марки БСт0 - фосфору $\geq 0,07$, сірки - $\geq 0,06\%$. 2. У всіх марках сталі, зазначених у таблиці, крім БСт0, Фосфору не повинне бути більше 0,04%, сірки - 0,05 хрому, нікелю, міді - 0,3; миш'яку - 0,08%.

ПРИМІТКИ

[illegible]

[illegible]

Навчально-методичне видання

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО І ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Модуль №1 «Матеріалознавство»

Методичні рекомендації

до виконання практичних та самостійних робіт
для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Молодший бакалавр»
початкового рівня (короткий цикл) спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми навчання

**Укладачі: Полянський Павло Миколайович,
Іванов Геннадій Олександрович,
Степанов Сергій Миколайович**

Технічний редактор – П. М. Полянський

Дизайн обкладинки – П. М. Полянський

Комп'ютерний набір – П. М. Полянський

Комп'ютерна верстка – П. М. Полянський

Формат 60x84/1/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 3,75. Наклад 75 прим. Зам. № 45.

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету.
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9.
Тел./факс: (0512)341082.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013 р.