

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

О. М. ДУБОВИЙ, Н. Ю. ЛЕБЕДЄВА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни
"ПРИКЛАДНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО"**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв • НУК • 2018

УДК 620.22(076)

Д 79

Автори:

О. М. Дубовий, доктор технічних наук, професор кафедри матеріалознавства і технології металів НУК;

Н. Ю. Лебедева, кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства і технології металів НУК

Рецензент С. І. Шкурат, кандидат хімічних наук, доцент кафедри матеріалознавства і технології металів НУК

Рекомендовано Методичною радою НУК

Дубовий О. М.

Д 79 Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Прикладне матеріалознавство" / О. М. Дубовий, Н. Ю. Лебедева. – Миколаїв : НУК, 2018. – 56 с.

Розглянуто загальні теоретичні відомості і рекомендації щодо методів визначення твердості матеріалів, аналізу будови втомних зламів, взаємозв'язку структури та фізико-механічних властивостей, впливу передрекристалізаційної термічної обробки на твердість металів, а також методів кількісної металографії.

Призначено для студентів спеціальності 132 "Матеріалознавство" та 134 "Авіаційна та ракетно-космічна техніка".

УДК 620.22(076)

© Дубовий О. М., Лебедева Н. Ю., 2018

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2018

Лабораторна робота № 1

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ

(4 години)

Мета роботи: ознайомитися з методикою визначення твердості металів за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом. Визначення твердості зразків різних матеріалів за Брінеллем, Роквеллом, Віккерсом.

1.1. Теоретичні відомості

Твердість – це властивість поверхневого шару матеріалу чинити опір пластичному деформуванню або руйнуванню при місцевій контактній дії. У техніці використовують різноманітні методи вимірювання твердості. Найпоширенішими є **методи Брінелля, Роквелла та Віккерса**, а також вимірювання мікротвердості. Ці методи ще називають методами втискання. Крім них, використовують методи подряпинок, відбивання, ультразвуковий та ін.

Для багатьох сплавів виявлена залежність між твердістю та іншими механічними, технологічними й експлуатаційними характеристиками матеріалів (міцність, зносостійкість, пластичність, здатність оброблятися тиском, різанням тощо). Наприклад, для деяких пластичних матеріалів залежність між границею міцності та твердістю за Брінеллем записується у вигляді

$$\sigma = K \cdot HB, \quad (1.1)$$

де HB – твердість за Брінеллем, МПа; K – коефіцієнт пропорційності ($K = 0,35$ – для сталі; $0,55$ – для міді та її сплавів у відпаленому стані; $0,4$ – для міді та її сплавів після наклепу).

Таким чином, знаючи твердість матеріалу, можна оцінити й інші його характеристики.

Суттєвою перевагою експериментальних методів визначення твердості є те, що всі вони неруйнівні, тобто для їх реалізації не потрібно виготовляти спеціальні зразки, а величина твердості визначається на поверхнях готових деталей без їх пошкодження.

Визначення твердості за Брінеллем

Умови визначення твердості за Брінеллем регламентуються державним стандартом. Схема визначення твердості показана на рис. 1.1.

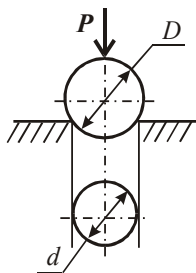


Рис. 1.1. Схема визначення твердості за Брінеллем

У поверхню зразка за допомогою твердоміра Брінелля втискають сталю загартовану кульку (*індентор*) діаметром D , який може бути рівним 2,5; 5 або 10 мм. Діаметр кульки вибирають у зворотній залежності від очікуваної твердості (табл. 1.1). Внаслідок пластичної деформації поверхневих шарів зразка отримується відбиток у вигляді сферичної лунки діаметром d (див. рис. 1.1).

Число твердості за Брінеллем **HB** визначають як відношення величини навантаження P , яким втискали кульку, до площі поверхні отриманого сферичного відбитка (лунки), F :

$$HB = P / F = 2P / \pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right). \quad (1.2)$$

Таблиця 1.1

Параметри випробувань при визначенні твердості за методом Брінелля

Матеріал	Інтервал твердості за Брінеллем, <i>МПа</i>	Мінімальна товщина зразка, <i>мм</i>	Діаметр кульки, <i>D, мм</i>	Співвідношення між <i>P, кгс</i> , і <i>D,</i> <i>мм</i>	Навантаження <i>P</i>		Час вит- римки, <i>с</i>
					<i>кгс</i>	<i>H</i>	
Чорні метали	1400...1500	6...3	10	$P = 30D^2$	3000	29430	10
		4..2	5		750	7357	
		<2	2,5		187,5	1839	
Кольорові метали	<1400	>6	10	$P = 10D^2$	1000	9810	10
		6...3	5		250	2452	
		<3	2,5		62,5	613	
	350...1300	9...6	10	$P = 10D^2$	1000	9810	30
		6...3	5		250	2452	
		<3	2,5		62,5	613	
	80...350	>6	10	$P = 2,5D^2$	250	2452	60
		6...3	5		62,5	613	
		<3	2,5		15,6	153	

Діаметр відбитка визначається за допомогою спеціальної лупи, яка має шкалу з ціною поділки 0,02 мм.

Щоб не проводити аналітичних обчислень за формулою (1.2), на практиці часто користуються стандартною таблицею, в якій наведена залежність числа твердості HB від d , D і P . Якщо використовувати міжнародну систему одиниць SI , приймаючи значення зусилля у H , площі лунки в mm^2 , то значення HB отримаємо в $Па$. В такому випадку в конструкторській і технологічній документації вказують значення твердості та її розмірність, наприклад: $HB\ 4500\ МПа$. Допускається позасистемна розмірність зусилля в $кгс$, площі в mm^2 . Тоді отримують розмірність твердості $кгс/mm^2$. При вказуванні значення твердості таку розмірність умовно упускають, наприклад $HB\ 270$.

Для пластичних матеріалів, схильних до повзучості (зростання пластичної деформації під дією постійного навантаження), випробування на твердість проводять з *деякою витримкою* при постійному навантаженні. Її час зростає зі зростанням пластичності металу. Для чорних металів витримка становить 10 с, кольорових 30...60 с. Діаметр кульки, навантаження (від 156 до 30000 H) та час витримки під навантаженням (10, 30 і 60 с) вибирають залежно від очікуваної твердості та товщини зразка.

Переваги методу Брінелля:

- простота випробувань і порівняно висока точність отримуваних результатів;
- проста залежність між твердістю HB та границею міцності матеріалів;
- можливість визначення твердості сплавів, які мають неоднорідну макроструктуру, наприклад, чавуну.

Недоліки методу Брінелля:

- обмежене застосування (до $HB\ 4500\ МПа$), зумовлене можливою деформацією сталльної кульки;

- неможливість випробування тонких виробів (товщиною менше 2...3 мм) та тонких поверхневих шарів (менше 1 мм);
- наявність на деталі відносно великого відбитка (діаметром до 6 мм), який залишається після випробувань, що може привести до непридатності деталі для подальшої експлуатації.

Будова і принцип роботи твердоміра Брінелля

Принципова схема твердоміра Брінелля зображена на рис. 1.2. За допомогою поворотного штурвала 1 і гвинта 2 рухомий стіл 3 може здійснювати зворотно-поступальний рух вгору-вниз. На стіл встановлюється випробовуваний зразок 4. Поворотом штурвала стіл піднімається і зразок дотикається до індентора 5.

Навантаження для втискання індентора в досліджувану поверхню створюється за рахунок ваги гир через важільну схему із співвідношенням довжини плечей 1:50. У початковому положенні (коли зусилля до індентора ще не прикладене) вага гир 6 сприймається штоком 7, який приводиться в рух кулачком 8 від черв'ячного редуктора 9 та електродвигуна 10. Для створення нормативного навантаження на твердомірі встановлюється необхідна кількість гир. Запуск двигуна 10 здійснюється кнопкою на панелі керування твердоміра. Після повороту кулачка 8 вага гир через важіль сприймається індентором, який проникає в поверхневі шари контрольованого зразка. В момент прикладання навантаження до зразка запалюється сигнальна лампочка, яка гасне при знятті навантаження. Час витримки зразка під навантаженням забезпечує реле часу.

Сучасні твердоміри для визначення твердості за Брінеллем можуть бути універсальними (один прилад для визначення твердості за Брінеллем та Роквеллом). Як правило,

робоче зусилля в ньому створюється також за рахунок ваги гир, однак привід силового механізму здійснюється не від електродвигуна через кулачок, а важелем від руки.

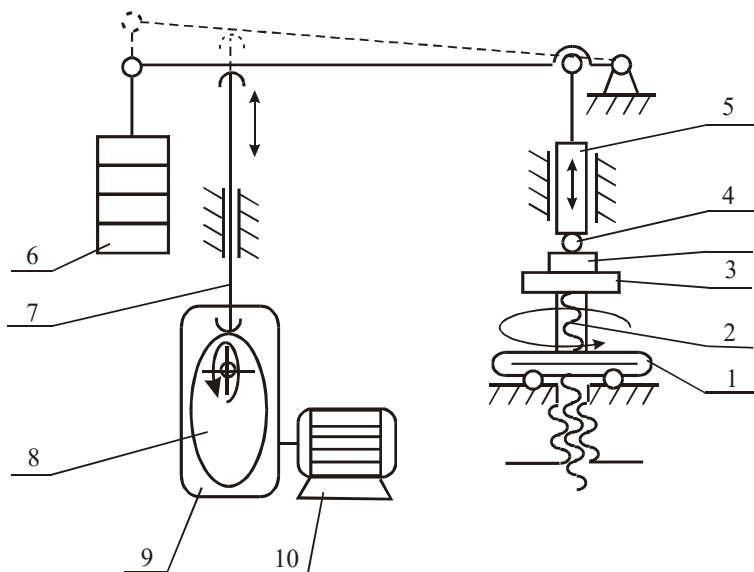


Рис. 1.2. Принципова схема твердоміра Брінелля

Визначення твердості за Роквеллом

Вимірювання твердості за Роквеллом регламентується державним стандартом. При вимірюванні твердості за Роквеллом *індентором* служить стальна кулька діаметром 1,588 мм (для м'яких матеріалів) або алмазний конус з кутом при вершині 120° і радіусом заокруглення вершини 0,2 мм.

При визначенні твердості за Роквеллом до індентора прикладається спочатку попереднє навантаження $P_o = 100\text{ Н}$, а потім – основне P_I (рис. 1.3).

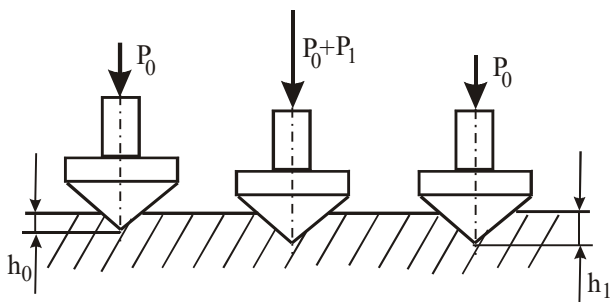


Рис. 1.3. Схема визначення твердості за Роквеллом:

P_o – попереднє навантаження величиною 100 Н;

P_l – основне навантаження.

Таким чином, загальне навантаження на індентор рівне

$$P = P_o + P_l \quad (1.3)$$

і вибирається залежно від типу індентора та очікуваної твердості матеріалу (табл. 1.2.). Числом твердості в цьому методі є деяка умовна величина, яку визначають безпосередньо за показами стрілки на циферблатному індикаторі твердоміра.

Таблиця 1.2

Умови визначення твердості за Роквеллом

Шкала Роквелла	Тип індентора	Навантаження, Н	Допустимі межі виміру твердості за Роквеллом
В	Стальна куля	1000	25...100
С	Алмазний конус	1500	20...67
А	Алмазний конус	600	70...85

При використанні алмазного конуса з повним навантаженням 1500 Н або 600 Н твердість визначають за чорною

шкалою (С або А) приладу. Отриману твердість позначають відповідно *HRC* або *HRA* та умовним (безрозмірним) числом твердості Роквелла, наприклад *HRC* 45. При використанні сталльної кульки із сумарним навантаженням 1000 Н, твердість визначається за червоною шкалою В. Конструктивно ця шкала зміщена відносно нульового положення чорної на 30 поділок.

Про твердість матеріалу роблять висновок за різницею глибин втискування індентора під дією двох послідовно прикладених навантажень P_o і P_I .

За одиницю твердості e прийнято величину, яка відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002 мм:

$$e = (h_I - h_o) / 0,002, \quad (2.4)$$

де h_I і h_o – глибина втискування індентора при прикладанні відповідно повного ($P_o + P_I$) та попереднього P_o навантаження.

Стрілка приладу вказує на величину твердості за Роквеллом на вибраній шкалі.

Товщина матеріалу при визначенні твердості за Роквеллом повинна бути не менше 8-кратної глибини втискування індентора, що складає 0,5...1 мм.

Конструктивна *схема твердоміра Роквелла* подібна до твердоміра Брінелля (навантаження електромеханічне або важільне, піднімання зразка за допомогою гвинта). Відмінність полягає лише в тому, що конструкцією передбачений спеціальний відліковий прилад (*індикатор*), на якому розміщено три шкали і який безпосередньо показує величину твердості. Ціна поділки шкали 0,002 мм.

Індикатор має дві стрілки. *Велика стрілка* вказує на твердість, а *мала служить* для контролю величини попереднього

навантаження (співпадання стрілки з крапкою циферблата вказує на досягнення попереднього навантаження в 100 Н).

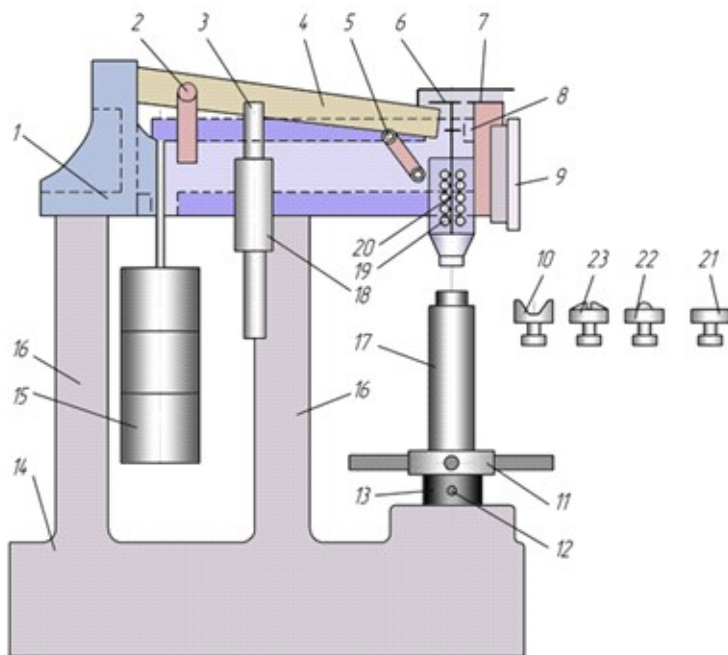


Рис. 1.4. Схема приладу типу ТК:

1 – поперечина; 2 – підвіска; 3 – шток; 4 – важіль підвіски; 5 – рукоятка; 6 – гвинт; 7 – важіль; 8 – призма; 9 – індикатор; 10, 21, 22, 23 – опорні столики; 11 – маховик; 12 – шпонка; 13 – напрямна втулка; 14 – станина; 15 – вантажі; 16 – опорні стояни; 17 – підйомний гвинт; 18 – втулка; 19 – пружина попереднього навантаження; 20 – шпindel

Нульова поділлка чорної шкали співпадає з початковим положенням стрілки. Червона шкала зміщена відносно нульової поділки чорної шкали на 30 поділок у напрямку, протилежному до руху стрілки індикатора при збільшенні навантаження.

При підніманні стола після контакту зразка з індентором мала стрілка почне повертатися. Підіймання стола закінчують, коли мала стрілка співпадає з крапкою. Це відповідає величині попереднього навантаження 100 Н . При цьому велика стрілка також буде переміщатись і зупиниться приблизно у вертикальному положенні з відхиленням до 5 поділок від нуля чорної шкали. Точне встановлення великої стрілки на нуль здійснюють поворотом циферблата з допомогою тросів, які приводяться в рух гофрованим сектором.

Переваги методу Роквелла:

- висока продуктивність контролю;
- можливість без будь-яких розрахунків (відразу за шкалою приладу) визначити твердість досліджуваного зразка;
- простота обслуговування;
- висока точність вимірювання в порівнянні з іншими методами;
- збереження якісної поверхні після вимірювання (мало помітні сліди від індентора);
- можливість автоматизації процесу.

Недоліки методу Роквелла:

- не можна випробовувати неоднорідні за структурою сплави, крихкі вироби з раковинами на поверхні, криволінійні поверхні при радіусі кривизни менше ніж 15 мм, зразки товщиною менше 8-кратної глибини втискання індентора.

Визначення твердості за Віккерсом

При стандартному вимірюванні твердості за Віккерсом (ГОСТ 2999–75) в поверхню зразка вдавлюють алмазний індентор у формі чотиригранної піраміди з кутом при вершині $\alpha \approx 136^\circ$. Після зняття навантаження $P = 10 - 1000\text{ Н}$, що діяло певний час (10–15 с), вимірюють діагональ відбитка d , що залишився на поверхні зразка (рис. 1.5). Число твердості записується без одиниці вимірювання, наприклад, HV 250.

Відносно невеликі навантаження і мала глибина вдавлювання індентора (менше від 1 мм) обумовлюють необхідність більш ретельної підготовки поверхні. Як правило, поверхня повинна бути відполірована і вільна від наклепу. Для отримання достовірних значень HV на кожному зразку роблять не менше п'яти вимірювань.

Схема приладу для вимірювання твердості за Віккерсом (ТП) показана на рис. 1.6. Техніка вимірювання включає операцію наведення на різкість і поєднання перехрестя окуляра з тим місцем на зразку, твердість якого необхідно виміряти. Потім поворотною головкою встановлюють індентор і включають механізм навантаження. Після зняття навантаження поворотну головку переводять у положення, щоб отриманий відбиток було видно в мікроскопі на спеціальному екрані. За допомогою окуляра-мікрометра вимірюють довжину діагоналей відбитка.

Числа HV і HB близькі за абсолютною величиною, що обумовлено рівністю кута при вершині піраміди і кута між дотичними до кульки в разі відбитка із $d = 0,375 D$. Важливе значення методу Віккерса – це геометрична подібність відбитків за будь-яких навантажень і можливість визначення твердості на зразках малих перетинів і з тонкими шарами структур різної твердості. Навантаження при випробуванні вибирають залежно від товщини виробу і його твердості (табл. 1.3), при цьому співвідношення товщини зразка або шару до діагоналі відбитка повинно бути не менше 1,5.

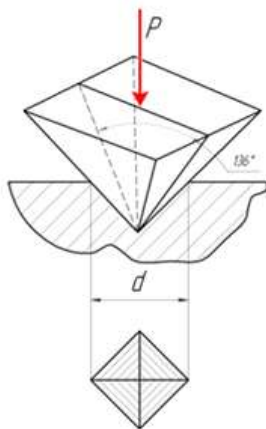


Рис.1.5. Схема вимірювання твердості за Віккерсом

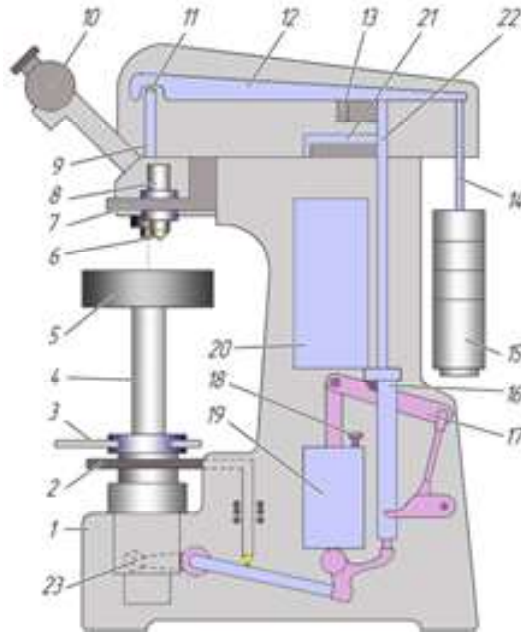


Рис. 1.6. Схема приладу ТП для визначення твердості за Віккерсом:

1 – станина; 2 – педаль; 3 – маховик; 4 – підйомний гвинт; 5 – опорний столик; 6 – індентор; 7 – рукоятка; 8 – шпиндель індентора; 9 – проміжний шпиндель; 10 – вимірювальний мікроскоп; 11 – призма; 12 – важіль; 13 – штир; 14 – підвіска; 15 – змінні вантажі; 16 – пустотілий шпиндель; 17 – важіль ламаний; 18 – регулювальний гвинт; 19 – амортизатор масляний; 20 – вантаж; 21, 22 – важелі підйому; 23 – рукоятка вантажного привода

Таблиця 1.3

**Рекомендовані навантаження
при вимірюванні твердості за Віккерсом**

Товщина зразка або шар металу h , мм	Навантаження P (Н) при твердості HV			
	20–50	50–100	100–300	300–900 і більше
0,3–0,5	–	–	–	50–100
0,5–1,0	–	–	50–100	100–200
1,0–2,0	50–100	50–100	100–200	100–200
2,0–4,0	100–200	100–300	300–500	200–500
понад 4,0	≥ 200	≥ 300	≥ 500	≥ 500

Метод мікротвердості (ГОСТ 9450–76) призначений для оцінки твердості дуже малих об'ємів матеріалу: вимірювання твердості дрібних деталей, тонкого дроту або стрічки, тонких поверхневих шарів, окремих фаз або структурних складових. Як індентор використовують алмазну піраміду (аналогічно методу Віккерса). Індентор плавно вдавлюється у зразок при навантаженнях 0,05–5 Н (5–500 г) і витримується упродовж 3–5 секунд.

Числа твердості визначаються за формулою або за таблицями залежно від діагоналі відбитка та прикладеного навантаження.

Оскільки глибина вдавлення індентора становить декілька мікрометрів, дуже важливо виключити вплив процесу підготовки поверхні зразка на значення величини мікротвердості. Тобто зразок перед випробуванням повинен бути відшліфованим та відполірованим. Число твердості позначають $H\mu$ і записують без одиниці вимірювання, де μ – це вага вантажів у грамах. Наприклад, $H501200$. Загальна схема мікротвердоміра ПМТ-3 наведена на рис. 1.7.

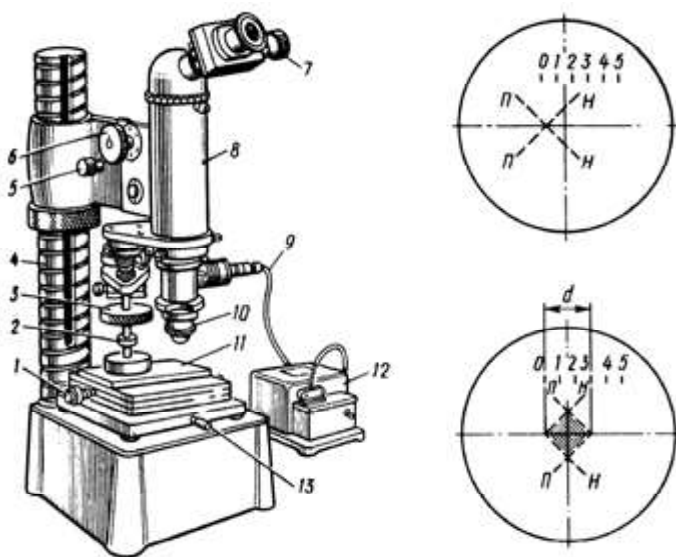


Рис. 1.7. Мікротвердомір ПМТ-3:

- 1 – мікрогвинт; 2 – індентор; 3 – механізм навантаження; 4 – стійка;
 5 – механізм мікроподачі; 6 – механізм макроподачі; 7 – окулярний
 мікрометр; 8 – тубус; 9 – система освітлення; 10 – об'єктив;
 11 – предметний столик; 12 – трансформатор;
 13 – рукоятка повороту

1.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з технікою визначення твердості на при-
борах Брінелля, Роквелла, Віккерса.
2. Підготувати зразки різних матеріалів до вимірювання
твердості. Заміряти твердість зразків.
3. Результати досліджень представити у вигляді таблиці.

Марка матеріалу	Твердість за Брінеллем, HB	Твердість за Роквеллом, HRC	Твердість за Віккерсом, HV

4. Оформити звіт: сформулювати мету роботи і навести теоретичні відомості, проаналізувати отримані експериментальні результати.

1.3. Прилади, матеріали та інструменти

Для проведення лабораторної роботи необхідно мати зразки різних матеріалів, прилади для визначення твердості: Роквелл, Брінелль, Віккерс.

1.4. Контрольні питання

1. Що розуміють під поняттям "твердість матеріалу"?
2. Назвіть основні методи вимірювання твердості. В яких випадках доцільно використовувати той чи інший метод?
3. Як вибрати навантаження та тип індентора при вимірюванні твердості за методом Роквелла і Брінелля?
4. Які переваги і недоліки методів Роквелла і Брінелля?
5. Методика вимірювання твердості за методом Віккерса.
6. Які вимоги висуваються до стану поверхні випробовуваного зразка?
7. Який зв'язок між значенням твердості та іншими механічними властивостями?
8. Які навантаження застосовуються при вимірюванні мікротвердості?

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ ВТОМЛЕНИХ ЗЛАМІВ (4 години)

Мета роботи: вивчити особливості будови втомлених зламів. Освоїти з методикою аналізу втомлених зламів.

2.1. Теоретичні відомості

Особливості будови втомлених зламів

Втомлені злами являються найбільш поширеним видом руйнування деталей машин та механізмів. Вміння правильно аналізувати втомлені злами часто має вирішальне значення для встановлення причини поломок.

Втомлені злами виникають після багатократного навантаження зразків або деталей при напруженнях, які не перевищують границю текучості матеріалу, або значно нижчих. Цим пояснюється відсутність слідів макропластичного деформування на ділянках втомленого зламу.

Зародженню втомленої тріщини попереджає виникнення зсувів первинних тріщин. Деякі тріщини, які розташовані в найбільш напруженому місці, поєднуються і дають початок магістральній втомленій тріщині. На шляху руху магістральної втомленої тріщини в мікрооб'ємах проходять пластичні деформації. Тому втомлені злами за макроскопічними ознаками можна віднести до категорії крихких зламів, а за мікроскопічними – до пластичних.

По мірі поступового розвитку втомлених тріщин переріз деталі все більше ослаблюється і стає недостатнім для діючих навантажень, що призводить до завершення руйнування – долому, яких протікає з підвищеною швидкістю.

Будова втомлених зламів залежить від умов:

- навантаження в процесі зародження і розвитку втомної тріщини;
- опору деталі, який залежить від її геометрії, властивостей матеріалу і стану поверхні;
- зовнішнього середовища (температура, корозійний вплив і т. д).

В наступний час термін "втомлений злам" поєднує декілька груп зламів:

- типові втомлені злами;
- повторно-статичні злами (також повторно-ударні злами);
- ударно-втомлені злами;
- корозійно-втомлені злами;
- злами термічної втоми;
- втомлені злами при підвищених температурах.

Типові втомлені злами

Особливості будови зламів найкраще вивчати на типових втомлених зламах, оскільки вони відрізняються найбільшою чіткістю. Це доцільно також тому, що характерні особливості будови типових втомлених зламів зустрічаються також і на зламах інших груп, хоча і в менш чіткої формі. З типових втомлених зламів найбільшою чіткістю відрізняються злами сталевих деталей після комбінованого навантаження, наприклад, у колінчастих валів, що працюють на вигин і кручення.

Втомні злами характеризуються наявністю вогнища руйнування, зони поступового власне втомленого розвитку і зони долому.

Осередок руйнування включає в себе фокус зламу, а зона власне втомленого розвитку – ділянки виборчого і прискореного розвитку.

Таким чином, на втомленому зламі є наступні зони ділянок (рис. 2.1):

- 1) фокус зламу – мікроскопічне місце зародження зламу;
- 2) осередок руйнування – макроскопічне місце зародження зламу, що утворюється після злиття декількох поруч розташованих фокусів;
- 3) ділянку виборчого розвитку, що займає зазвичай майже всю поверхню зони власне втомного розвитку;
- 4) ділянка прискороного розвитку, що утворюється перед остаточним руйнуванням деталі;
- 5) зона остаточного руйнування (зона долому).

Крім перелічених зон і ділянок, на поверхні втомного зламу можна виділити:

- а) сходинки і рубці, які утворюються в результаті злиття декількох фокусів (зародкові тріщини);
- б) втомні лінії, які утворюються внаслідок зміни величини діючих напруг або змін напруженого стану;
- в) пасинкова тріщина, що утворюються при різкому повороті напрямку розвитку зламу;
- г) вторинні сходинки і рубці від злиття пасинкових тріщин;
- д) ділянки крихкого ковзання від проміжного одноразового прикладання навантаження, яке за величиною може перевищувати максимальне циклічне.

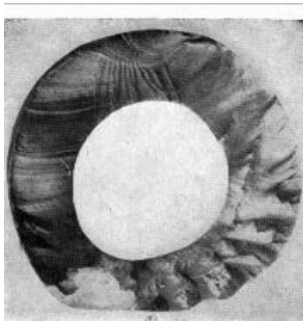


Рис. 2.1. Втомлений злам шатунної шийки колінчастого вала з типовими ознаками (сталь 40ХНМА):
1 – фокус зламу і зона джерела руйнування; 2 – вторинні сходинки і рубці;
3 – втомні лінії; 4 – зона прискороного розвитку зламу; 5 – зона долому

Сходинки і рубці розташовуються в осередку руйнування, втомлені лінії, пасинкові тріщини з вторинними сходитками і рубцями – в зоні виборчого розвитку, а ділянки крихкого ковзання найчастіше розташовуються в перехідній зоні або на ділянці прискореного розвитку.

Для будови втомних зламів характерна наявність границі розділу зони поступового втомного розвитку зламу і зони долому, іноді званої демаркаційною границею і закономірна зміна шорсткості поверхні поступового розвитку зламу на різних його ділянках, а також на різних зламах в залежності від величини навантаження деталі.

Фокусом зламу називається точка, точніше дуже мала зона, де виникає і звідки розвивається руйнування. Фокус зламу є більш локальної зоною, ніж осередок руйнування, і тому більш точно вказує на місце зародження зламу. В результаті злиття двох тріщин, що йдуть з сусідніх фокусів, може утворитися складка або сходитка в залежності від того, на якій відстані ці фокуси розташовані один від одного. Якщо зародкові тріщини розташовані під невеликим кутом один до одного, то після їх злиття утворюється характерна випуклість на одній стороні зламу і увігнутість на іншій.

Утворення фокуса зламу відповідає початковій стадії розвитку втомленого руйнування, на якій виникають зародкові або субмікроскопічні тріщини, звані також надривами, які не виявляються при звичайних втомлених випробуваннях. Фокус зламу виникає в місці найбільш несприятливого поєднання напружень і міцності матеріалу деталі. Втомлені тріщини зазвичай починаються від зовнішніх, як правило, найбільш навантажених і частіше пошкоджуваних ділянок деталі, рідше – під поверхнею при внутрішніх дефектах матеріалу або достатній глибині поверхневого зміцненого шару. Осередком зародження зламу під поверхневим шаром (рис. 2.2) стало наявність феритних включень.

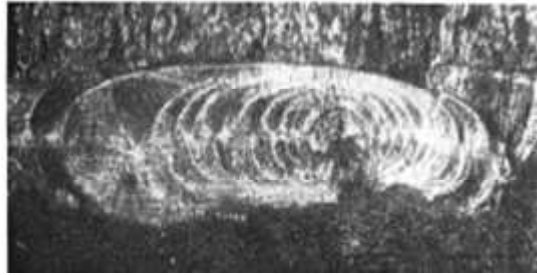


Рис. 2.2. Ділянка зламу кулачкової шайби поршневого двигуна з осередком зародження, розташованим у цементованому шарі $\times 45$

Осередком руйнування називається макроскопічна зона зародження втомленої тріщини. Осередок руйнування або початкові тріщини нерідко виявляються на деталях в процесі профілактичного огляду або ремонту вузла, машини або механізму.

Зона зламу, що представляє собою осередок руйнування, зазвичай характеризується найбільшими блиском і дрібнозернистою будовою поверхні.

Причиною утворення блискучої, як би притертої, поверхні може служити її стирання внаслідок повторних відкриттів і закриттів тріщини, а також мікровибірковість розвитку зламу. В осередку руйнування при наявності декількох поруч розташованих фокусів утворюється складки і рубці, що радіально розходяться. Від осередку руйнування, як з центру, розходяться втомлені лінії. У вузькій зоні безпосередньо в осередку руйнування втомлені лінії зазвичай непомітні.

Вивчення поверхонь зламів зразків і деталей показує, що одночасно може зароджуватися декілька тріщин втомі з різних фокусів. Найчастіше початкові тріщини з'являються у вигляді серії дрібних надривів, що розташовуються в більшості

випадків паралельно один одному, з невеликими інтервалами, іноді навіть перекриваючи один одного або утворюючи сітку тонких початкових тріщин (рис. 2.3).

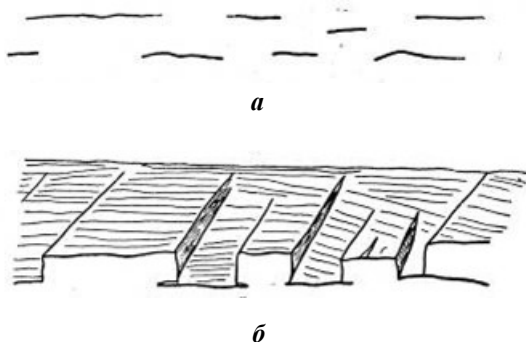
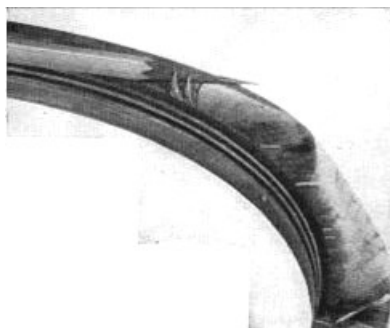


Рис. 2.3. Схема утворення сходинок і рубців:
початкові надриви (а) і злам з рубцями і сходинками (б)

Якщо початкові тріщини розташовуються майже в одній площині, то місце їх з'єднання відзначається лише невеликим рубцем. Якщо початкові тріщини розташовуються на значній відстані один від одного, то утворюються більш великі уступи або відокремлюються від зламу своєрідні голки і пелюстки (рис. 2.4.).

Рис. 2.4. Ділянка зламу
з голками, що відокремилися
від поверхні руйнування



Кількість сходинок або рубців, що утворюються в результаті злиття початкових тріщин, вказує на кількість фокусів і побічно на величину перевантаження. Чим вище перевантаження, тим більше в зламі сходинок і рубців, якщо тільки виникнення кількох фокусів не викликане впливом різких і численних концентраторів напружень (корозійні раковини, сліди грубої механічної обробки і т. д.). Висота уступів залежить від форми і розташування концентраторів. Так, наприклад, при витягнутому в лінію концентраторі типу надрізу з дуже малим радіусом заокруглення, розташованим перпендикулярно полю головних нормальних напружень, рубці в зоні осередка можуть або зовсім відсутні або бути дуже незначними. Сходинки і рубці також можуть бути відсутніми в разі розвитку руйнування від одного точкового концентратора напружень.

Форма і розміри різних сходинок і рубців на зламі залежать також від ступеня перевантаження: чим вище перевантаження, тим імовірніше виникнення осередка руйнування на більш значній відстані один від іншого, тим крупніше сходинки; чим менше ступінь перевантаження, тим вужче зона початку руйнування, тим дрібніше сходинки, і, отже, вище

чистота поверхні на ділянці зародження зламу.

Якщо початкові тріщини розташовані на значній відстані одна від одної і не роблять істотного взаємного розвантажувального впливу, то можливе руйнування деталі за двома і більше верхонь (рис. 2.5).

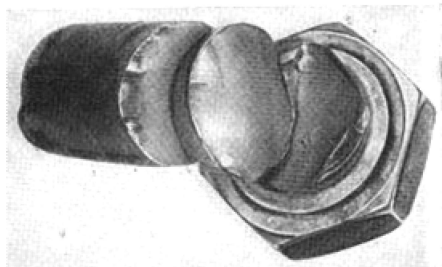
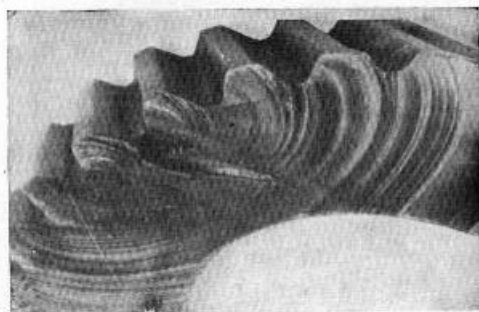


Рис. 2.5. Злам болта зі сталі 45, що утворився за двома перерізами

Наприклад, на рис. 2.5 показано руйнування болта, яке відбулося з двох майже паралельних поверхонь. За наявності кількох поруч розташованих осередків руйнування, то тріщина, розвиваючись за найменшою поверхні, вирівнює сходинки, які утворюються від злиття декількох осередків руйнування (рис. 2.6).

Рис. 2.6. Вирівнювання
рубця на зламі
(40ХНМА)



Послідовність виникнення осередків руйнування оцінюється за густотою втомлених ліній і блиску поверхні близько осередків. Більш густе розташування втомлених ліній і більший блиск поверхні означає більш повільне поширення тріщин, отже, більш раннє їх виникнення.

Так, з розгляду зламу шатунної шийки колінчастого вала видно (рис. 2.7), що близько одного осередку втомлені лінії розташовані частіше, а поверхня зламу більш дрібнозерниста, що,

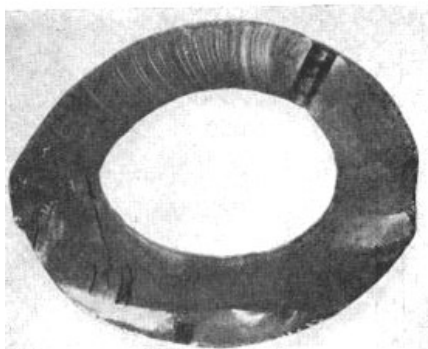


Рис. 2.7. Поверхня зламу шатунної шийки колінчастого вала зі сталі 40ХНМА

мабуть, указує на початкове зародження цього осередку, а потім утворення другого осередку після перерозподілу напружень в деталі, що була ослаблена тріщиною.

На поверхні зламу може бути декілька осередків руйнування з приблизно однаковим блиском поверхні зламу біля них і однаковою густотою втомних ліній, що пов'язано з більш високим перевантаженням деталі.

Ділянка виборчого розвитку. Втомлені тріщини при своєму просуванні можуть неодноразово змінювати напрямок подальшого розвитку, що призводить до утворення на зламах пасинкових тріщин, втомних ліній та інших знаків.

Зміни в напрямку розвитку тріщин викликаються зміною напруженого стану, яке може відбуватися від різних причин:

а) при зміні умов зовнішнього навантаження (наприклад, при появі згинаючих навантажень при повторному скручуванні і т. п.);

б) через перерозподіл напружень, обумовлених розвитком тріщини;

в) під впливом сусідніх близько розташованих тріщин, дефектів матеріалу, залишкових напруг і т. д.

При зміні напрямку розвитку початкової тріщини можуть утворитися зародки тріщин, що розвиваються в іншому напрямі. Від злиття цих, так званих, пасинкових тріщин утворюються вторинні сходинки і рубці. Таким чином, пасинковими тріщинами називаються такі тріщини, які розвиваються за новим (зміненим) напрямком, а вторинними сходинками і рубцями називаються уступи, що утворюються від злиття пасинкових тріщин. Пасинкові тріщини, вторинні сходинки і рубці утворюються біля границь ділянки виборчого розвитку зламу.

Методика аналізу втомленого зламу

Основним доказом втомленого руйнування деталі є наявність на поверхні зламу характерних зон і ліній.

Додатковими доказами є:

а) фактичний термін служби деталі. Втомлений злам утворюється приблизно після 1–5 мільйонів циклів навантаження. Якщо кількість циклів навантаження складало декілька тисяч, то такий злам слід віднести до групи повторно-статичних або перенавантажених;

б) розподіл і орієнтування форми тріщини. Втомна тріщина на ділянці її зародження зазвичай має зигзагоподібну форму внаслідок зливання сходинок рубців, а на ділянці зони безпосередньо втомленого розвитку – плавну форму. Втомлене руйнування проходить, як правило, по місцю найбільшої концентрації напружень;

в) відсутність слідів макропластичного деформування руйнованої деталі на ділянці втомленого розвитку тріщини.

2.2. Порядок виконання роботи

1. Проаналізувати особливості будови втомних зламів.
2. Провести аналіз втомних зламів отриманих зразків.
3. Замалювати схеми зламів, визначити характерні зони.
4. Оформити звіт: сформулювати мету роботи і навести теоретичні відомості, проаналізувати характер руйнування і структуру зламів.

2.3. Прилади, матеріали та інструменти

Для проведення лабораторної роботи необхідно мати зразки зламів, фотографії мікроструктур зламів.

2.4. Контрольні питання

1. Які злами відносяться до втомлених?
2. Від яких умов залежить будова втомлених зламів?
3. Які існують основні групи втомлених зламів?
4. Дайте характеристику основним зонам і ділянкам втомлених зламів.
5. За якою методикою проводять аналіз втомленого зламу?

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕДРЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ТВЕРДІСТЬ МЕТАЛІВ (4 години)

Мета роботи: вивчити закономірності впливу передрекристиалізаційної термічної обробки холоднодеформованих металів і сплавів на структуру і механічні властивості. Здобуття навичок визначення оптимальних параметрів передрекристиалізаційної термічної обробки, що забезпечує максимальну твердість.

3.1. Теоретичні відомості

Сучасне високотехнологічне виробництво потребує нових матеріалів з унікальними властивостями. Застосування їх у конструкціях визначається співвідношенням між міцністю і пластичністю. Металеві матеріали мають найпривабливіші з точки зору практичної доцільності співвідношення. Приріст міцнісних властивостей в останні роки забезпечується в основному за рахунок цілеспрямованого формування здрібненої мікро- і нанокристалічної структури.

Наноструктурними прийнято називати матеріали, основні структурні елементи яких (кристаліти, зерна, шари, волокна, пори) не перевищують 100 нм, принаймні в одному напрямі і володіють якісно новими властивостями, функціональними та експлуатаційними характеристиками. Основні методи отримання консолідованих наноматеріалів такі: порошкові та плівкові технології, інтенсивна пластична деформація, кристалізація із аморфного стану. Консолідовані наноматеріали не набули поки що широкого застосування.

Подрібнення зеренної (субзеренної) структури до нанокристалічного (НК) стану з розміром, що не перевищує 100 нм, здійснюють переважно методами інтенсивної пластичної деформації (ПД). Результати досліджень міцності та пластичності металів і сплавів після ПД свідчать про можливість їх збільшення і регулювання при переході в НК стан. Внаслідок ПД утворюється високорозорієнтована фрагментована субструктура завдяки великій деформації. Встановлено, що для отримання НК стану в α -залізі при ПД необхідно одночасне виконання декількох умов і досягнення високого ступеня дійсної деформації $e \geq 10$ включно ($e = \ln(l_k/l_0)$).

Об'ємне наноструктурування методами ПД застосовують у техніці для отримання виробів невеликого розміру (авіаційні кріплення, медичні імпланти, деталі приладів тощо). Наноструктурування деталей великого розміру методами ПД викликає значні технічні та технологічні труднощі і не є економічно доцільним. Основна частина цих методів не доведена до практичного застосування.

Задача створення ефективного пристрою ПД, який забезпечить отримання з малою трудомісткістю масивних наноструктурованих заготовок і виробів з підвищеними властивостями, буде, без сумніву, актуальною ще довготривалий час.

В останні десятиріччя розроблені і використовуються способи механотермічної і термомеханічної обробки, що дозволяють підвищити якість прокатаних і кованих виробів шляхом формування переважно полігонізаційної субструктури. Для формування полігонізаційної субструктури використовується фазовий наклеп (подвійне гартування). Ці способи забезпечують підвищення міцнісних характеристик хромонікелевих сталей на 20...60 %. Отримання полігонізаційної субструктури у високовуглецевих сталях за допомогою високотемпера-

турної термомеханічної обробки (ВТМО) при 1050 °С забезпечує підвищення міцності на 17...30 %, ударної в'язкості у 1,8...2 рази. Динамічна збиральна полігонізація, яка реалізується у процесі ВТМО, забезпечує формування субзерен розмірами 3...5 мкм, подвійне гартування і відпуск при 600...650 °С – 0,8...1 мкм і підвищену корозійну стійкість. Крім того, полігонізаційна субструктура ускладнює рух дислокацій у процесі повзучості.

Ще у роботі І.О. Одінга (1961 р.) вказано, що крім можливостей підвищення міцності металів шляхом зниження щільності дислокацій (нижче 106...108 см⁻²) та їх збільшення (вище 108 см⁻²) намітилась інша можливість – шляхом розподілу статистично розкиданих дислокацій у суворо визначеному порядку. Такий порядок виникає при полігонізації, яка здійснюється при нагріванні пластично деформованих металів і сплавів. У наш час ця можливість реалізовується шляхом ПД і різних видів обробки, які згадані вище, що формують полігонізаційну субструктуру. Але можливості такого формування субструктури використовуються далеко не повністю через процеси динамічної і збиральної полігонізації, що мають місце при порівняно тривалому часі витримки за високої температури.

Розроблено способи деформаційно-термічної обробки металів і сплавів, які забезпечують підвищення твердості деформованих обтискуванням (>70%) металів (Fe, Ni) і сплавів (бронзи, сталі) на 25...40 %; напилених покриттів – на 30...70 % та зниження теплопровідності на 30 %. Суть способів полягає у формуванні полігонізаційної субструктури шляхом нагрівання металів та сплавів до температури початку первинної рекристалізації з короткочасною (до 10 хв) витримкою та наступного охолодження до температури навколишнього середовища зі швидкістю, яка унеможливорює ріст субзерен.

При цьому зафіксовано зменшення областей когерентного розсіювання променів (ОКР), які отожднюють з розміром субзерен, наприклад, у технічного заліза до 78 нм (після деформації обтискуванням на 60 % та термообробки, яку назвали передрекристалізаційною (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

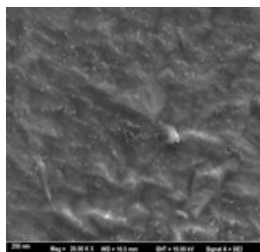
Значення фізико-механічних властивостей та розміру областей когерентного розсіювання технічно чистого заліза залежно від виду обробки

Вид обробки	Межа міцності $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження Ψ , %	Логарифмічний декремент затухаючих коливань $\delta_{\text{ср}}$, %	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К)	Питомий електроопір $\rho \times 10^{-7}$, Ом·м	Розмір ОКР D, нм
Відпал 800 °С, 60 хв	120	30	60	1,95	84,3	1,27	>200
Деформація 60 %	698	10	14	2,8	65	1,52	131
Деформація 60%, передрекристалізаційна т. о. 500 °С, 1,5 хв	921	16	34	4,6	32	1,70	78

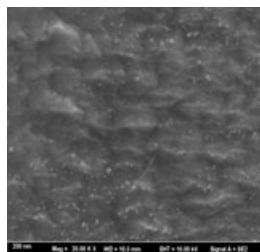
На рис. 3.1. представлено фотографії мікроструктури деформованих та термооброблених зразків технічно чистого заліза, отримані скануючим електронним мікроскопом ZEISS GeminiSEM 500 методом електронної мікроскопії.

З рис. 3.1. видно, що відбувається здрібнення субструктурних елементів після передрекристалізаційної термічної обробки відносно деформованого стану, що підтверджують дані визначені розміри ОКР методами рентгеноструктурного аналізу (див. табл. 3.1), згідно з якими відбувається їх

зменшення після передрекристалізаційної термічної обробки відносно деформованого стану. Це є прямим доказом щодо здрібнення субструктури пластично деформованого технічно чистого заліза в процесі передрекристалізаційної термічної обробки.



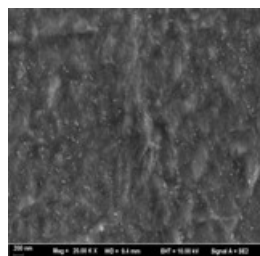
a



б

Рис. 3.1. Мікроструктура технічно чистого заліза:

- a* – після деформування;
- б* – після деформування та термічної обробки (10 хв);
- в* – після деформування та термічної обробки (60 хв)



в

3.2. Порядок виконання роботи

1. Отримати зразки технічного заліза у відпаленому стані. Заміряти твердість.
2. Провести деформування зразків на гідравлічному пресі зі ступенем деформації 60 %. Заміряти твердість.
3. Провести передрекристалізаційну термічну обробку при температурі, яка відповідає температурному порогу рекристалізації (500 °С) з різним часом витримки від 0,5 хв до 4 хв з кроком 0,5 хв. Заміряти твердість.

4. Результати експерименту представити у вигляді таблиці.

Марка матеріалу	Твердість у відпаленому стані, HRC	Твердість у деформованому стані, HRC	t_n , °C	Час витримки, хв	Твердість після ПТО, HRC

5. Побудувати графік залежності твердості від часу витримки при термічній обробці.

6. Визначити та обґрунтувати час витримки, який забезпечує максимальну твердість.

7. Оформити звіт: сформулювати мету роботи і навести теоретичні відомості, проаналізувати експериментальні результати.

3.3. Прилади, матеріали та інструменти

Для виконання лабораторної роботи необхідно мати зразки технічного заліза, штангенциркуль, прес гідравлічний марки Losen Housen WLRK, муфельну піч, бак з водою, пристрій типу Роквелла, шліфувальну шкурку.

3.4. Контрольні питання

1. Які існують методи отримання наноструктурних матеріалів?

2. Які зміни структури і властивостей металів викликає холодна пластична деформація?

3. Які фактори впливають на розмір зерен після термічної обробки деформованого металу?

4. В чому полягає процес передрекristалізаційної термічної обробки?

5. За яких умов можливо проявлення нанорозмірного ефекту в процесі передрекristалізаційної термічної обробки?

6. Які недоліки ПТО і методи їх усунення?

Лабораторна робота № 4

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУКТУРИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ (4 години)

Мета роботи: вивчити закономірності впливу структурних факторів на властивості металів та сплавів. Визначити вплив структури на демпфірувальну здатність. Отримати навички проведення дослідження демпфірувальної здатності матеріалів.

4.1. Теоретичні відомості

Оскільки фізико-механічні властивості матеріалу залежать від внутрішніх особливостей речовини, тобто від його структури і будови, окремий розгляд їх недостатній. Структуру і властивості слід вивчати взаємопов'язано, оскільки в тому випадку можна визначити необхідні фізико-механічні властивості матеріалу з урахуванням впливу його структури і будови. Вплив цих параметрів виявляється в результаті сумісної дії різних факторів в процесі виготовлення матеріалу. У металургії на цей процес впливають, наприклад, масові частки компонентів і їх чистота тобто: хімічний склад речовини, температура плавлення, температура гарячої прокатки, зусилля деформації, швидкість витяжки, температура і швидкість охолодження при кінцевій термічній обробці, тривалість і атмосфера, в якій проводиться термічна обробка.

В цілому, структура матеріалу в різних місцях різна внаслідок того, що не існує ідеальних кристалів, а в реальних кристалах завжди є дефекти структури. Вони поділяються на дефекти точкові (наприклад, вакансії, сторонні атоми), лінійні

(наприклад, дислокації), поверхневі (наприклад, дефекти упаковки, межі зерен, межі фаз, внутрішні і зовнішні поверхні твердих тіл) і тривимірні дефекти (наприклад, скупчення точкових дефектів, зони поблизу мікроліквації, виділення, пори, грубі дефекти матеріалу, такі як усадочна рихлість, тріщини, розмежування). У багатофазних матеріалах, якими являються, наприклад, сплави, велику роль відіграє розподіл різних типів атомів у ґратці, тобто хімічний порядок. Він досягає повного статистичного заповнення ґратки до хімічного далекого порядку. Якщо структурні елементи мають електричний або магнітний момент, часто вирішальне значення набуває їх взаємна орієнтація, тобто ступінь напруженості.

У поняття структури твердого тіла входить не тільки геометричний аспект, що стосується розташування атомів і іонів в ґратці, але так само їх енергетичні взаємозв'язки (наприклад, тип зв'язку, сили взаємодії). Цей комплекс враховується поняттям електронної структури. Для розробки нового матеріалу, вона має велике значення в зв'язку з електричними і магнітними явищами. Отже, склад і структура визначають макроскопічні властивості матеріалів. При цьому залежно від поставленого завдання використовується переважний вплив того чи іншого чинника.

Визначення демпфірувальної здатності матеріалів

Демпфірувальна здатність матеріалів характеризується відносним розсіюванням енергії ψ % або логарифмічним декрементом коливань δ . Демпфірувальна здатність є структурно чутливою характеристикою матеріалу. Основними причинами розсіювання енергії механічних коливань в металевих матеріалах являється: мікропластичні деформації, які пов'язані з переміщенням дислокацій; магнітомеханічний гістерезис і зворотне мартенситне перетворення.

За ознаками основного механізму розсіювання енергії розрізняють наступні високодемпфірувальні металеві матеріали:

1. Сплави з гетерогенною структурою (дві або більше складові). Основою їх структури являється відносно міцна і в'язка матрична фаза, в якій рівномірно розподілені пластичні включення інших фаз. Висока демпфірувальна здатність обумовлена локальною пластичною деформацією у включеннях м'яких фаз і на міжфазних границях включення – матриця. До даної групи сплавів відносяться чавуни, свинцевисті бронзи.

2. Феромагнітні сплави з магнітомеханічним гістерезисом. Демпфірувальна здатність цих сплавів пов'язана з необоротним зміщенням границь магнітних доменів під дією циклічних навантажень. До сплавів цієї групи в першу чергу відносяться хромисті нержавіючі сталі 12Х13 і 20Х13, а також їх модифікації 15Х11МФ, 15Х12ВНМФ, 18Х12МБФР, 15Х12В2МФ і ін. До перспективних сплавів цієї групи відносяться сплави заліза з 13...14 % А1, що характеризуються аномально високою магнітострикцією.

3. Сплави з дислокаційним механізмом демпфірування, який пов'язано з взаємодією дислокацій з домішковими атомами. До цієї групи відносяться магній та його сплави.

4. Сплави з двійниковими мартенситними кристалами. Границі двійників, які утворюються в процесі зворотного мартенситного перетворення, володіють великою рухливістю, що обумовлює високий рівень розсіювання енергії. В таких сплавах можлива дія декількох механізмів розсіювання: рух міжфазних границь – матриця–мартенсит; мартенсит–матриця; границь двійників у пластинах мартенситу; переорієнтування мартенситних пластин. Дана група поєднує різні за хімічним складом подвійні і багатокomпонентні сплави. Найбільш

перспективними для промислового застосування є сплави на основі систем нікель–титан, марганець–мідь, мідь–алюміній.

Визначення демпфірувальної здатності за методикою вільних коливань

Кількісною характеристикою розсіювання енергії незалежно від природи джерел енергетичних витрат є відносне розсіювання енергії, або коефіцієнт розсіювання ψ , який визначається за формулою:

$$\psi = \frac{\Delta N}{N_0}, \quad (4.1)$$

де ΔN — розсіяна енергія за цикл коливань; N_0 — максимальне амплітудне значення енергії, що накоплена системою з початку циклу.

Логарифмічний декремент коливань визначається за формулою

$$\delta = \frac{1}{z} \ln \frac{a_k}{a_{k+z}}, \quad (4.2)$$

де a_k і a_{k+z} — амплітуди коливань з початку і в кінці інтервала, який складається з z коливань.

Для визначення δ за формулою (4.2) необхідно розбивати віброграму на ділянки з практично допустимою кількістю в інтервалі z і розглядати δ як деяке середнє постійне значення на даному інтервалі.

Установка для дослідження демпфірувальних властивостей (рис. 4.1, 4.2) складається з основи 1, столу 7, стійок 2, 6, 8, жорсткої планки 3, індикатора 5. До стійки 2 спеціальними зажимами 4 кріпиться зразок 10, що являє собою пластину 140×10×2 мм. В пластині розташований отвір для

жорсткого кріплення феромагнітного стрижня 11 та додаткового вантажу. Кінець стрижня опускається у котушку індуктивності 9, що закріплена стійками 8 до столу.

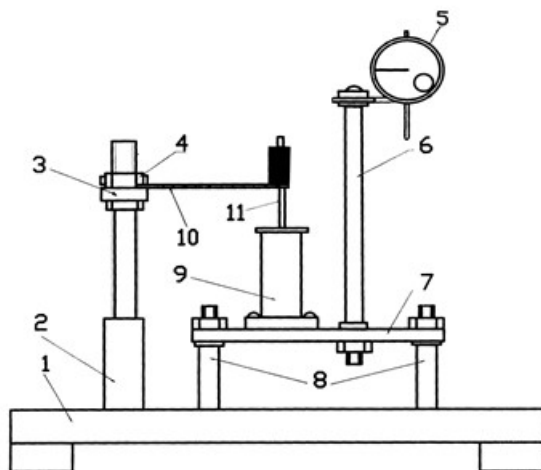


Рис. 4.1 Установка для дослідження демпфувальних властивостей

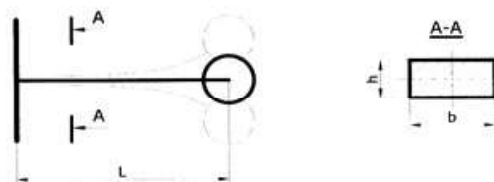


Рис. 4.2. Схема проведення випробувань

Запис віброграми проводиться через електричну схему та звукову карту комп'ютера і виводиться на монітор. Приклад віброграми представлено на рис. 4.3.

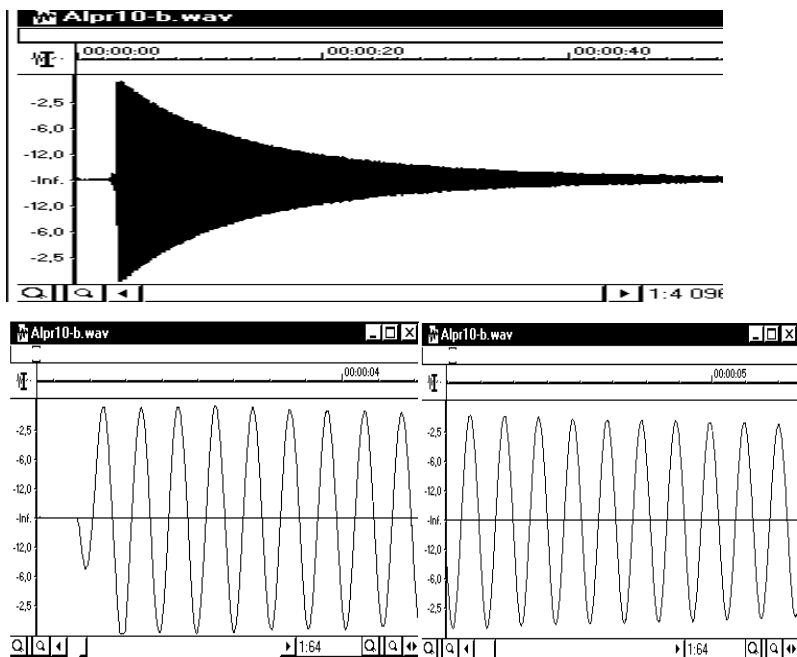


Рис. 4.3. Віброграма згасаючих коливань

4.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методикою проведення експерименту на установці для дослідження демпфівальної здатності.
2. Провести дослідження для зразків з різних матеріалів.
3. Віброграми коливань роздрукувати на принтері. Розбити віброграми на ділянки по 5 коливань.
4. Заміряти лінійкою амплітудні значення. Розрахувати логарифмічний декремент коливань для кожної ділянки. Визначити середнє значення. Результати представити у вигляді таблиці.

Марка матеріалу	δ_{1-5}	δ_{6-10}	δ_{cp}

5. Оформити звіт: сформулювати мету роботи та навести теоретичні відомості, представити віброграми, розрахунки.

4.3. Прилади, матеріали та інструменти

Для виконання лабораторної роботи необхідно мати зразки з різних матеріалів у вигляді пластин розміром 140×10×2 мм, установку для дослідження демпфірувальної здатності, принтер, лінійку.

4.4. Контрольні питання

1. Які фактори впливають на структуру металевих матеріалів?
2. Які властивості відносяться до структурно чутливих характеристик металів і сплавів?
3. Які існують групи демпфірувальних матеріалів?
4. Які існують механізми розсіювання енергії механічних коливань?
5. Як визначають демпфірувальну здатність за методикою вільних коливань?

Лабораторна робота № 5

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КІЛЬКІСНОЇ МЕТАЛОГРАФІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРУ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ ТА ВІДНОСНОГО ВМІСТУ ФАЗ (4 години)

Мета роботи: ознайомитися з методами кількісного структурного аналізу металів та сплавів. Здобуття навичок визначення розміру структурних складових і відносного вмісту фаз.

5.1. Теоретичні відомості

При розробці нових металевих матеріалів важлива роль належить методам спостереження і оцінки мікроструктури. Існують три способи оцінки мікроструктури: якісна, напівкількісна (балова оцінка порівняно із структурами стандартних шкал) і строго кількісна оцінка геометричних параметрів мікроскопічної будови. Перші два способи оцінки мають суб'єктивний характер і результати оцінки різних спостерігачів дуже часто розходяться. Тільки кількісні дані о геометричних параметрах мікроструктури дозволяють скористатися ефективним математичним апаратом та комп'ютерною технікою для отримання достовірних залежностей між властивостями і структурою, між структурою, складом та обробкою матеріалу. Ці залежності отримують у вигляді графіків або математичних формул. Вони дозволяють виявити фізичну природу процесів, які протікають у структурі при обробці та експлуатації матеріалу. Використовуючи такі залежності, ми отримуємо можливість обирати оптимальний склад, найкращу технологію отримання та обробки матеріалу, які забезпечують

створювання потрібної структури і, отже, потрібні властивості. За допомогою металографічного мікроскопа можна не тільки визначити наявність у структурі сплаву тих або інших фазових і структурних складових, але й досить точно визначити хімічний склад сплаву. Це пов'язано з тим, що зміна хімічного складу сплавів даної системи компонентів приводить до зміни кількісного складу фаз і структурних складових у структурі сплаву. Знаючи методи визначення кількості фаз і структурних складових за допомогою мікроскопа, можна у сплавах, які знаходяться у рівноважному стані (відпалених), шляхом нескладних розрахунків порахувати хімічний склад сплаву. Наприклад, цим методом широко користуються при визначенні кількості вуглецю у вуглецевих сталях і білих чавунах.

Важливою характеристикою металів і сплавів, яка виявляє значний вплив на механічні та інші властивості, є розмір зерна. Сучасна комп'ютерна техніка дозволяє одержувати високоякісне зображення, перетворювати його тощо. Одним з головних напрямів у дослідженні властивостей матеріалів є аналіз зображень і моделювання мікроструктур. Застосування відповідних пакетів програм дозволяє вирішувати складні, трудомісткі задачі за невеликий проміжок часу. Наприклад, застосування програми SIAMS600 значно спрощує проведення комплексних досліджень з аналізу розміру зерна, неметалевих включень, ступеня анізотропії, кількісному аналізу структурних складових. Для одержання зображення на моніторі комп'ютера можуть застосовуватися кольорові відеокамери, короткофокусні цифрові фотокамери, які сприймають сигнал в кольоровому або чорно-білому зображенні. Сигнали з даних пристроїв передаються в пам'ять комп'ютера за допомогою плати відеозахвата, яка дозволяє оцифровувати зображення в 256 рівнів сірої шкали або повнокольоровий RGB рисунок у кадрі розмірами 352×240 пікселів. Таке зоб-

раження може бути оброблене з використанням стандартних програм обробки зображень PHOTOSHOP або ASDSee. Після обробки зображення можна вивести на друку.

Більшість конструкційних матеріалів є полікристалічними, вони складаються з конгломерату зерен, розділених границями. Границя зерна – один з важливіших структурних параметрів, що визначає властивості металевих матеріалів. Границя зерна – область кристалічної недосконалості, вона може рухатися, адсорбувати домішки і має високу дифузійну проникливість. Границі зерен (міжкристалічні границі) являють собою тонкі (від декількох атомних відстаней до декількох сотен) перехідні зони між суміжними кристалітами (рис. 5.1). Границя зерена знаходиться під впливом силових полів ґраток обох кристалітів, насичена домішковими атомами, дислокаціями, вакансіями, має підвищену потенційну енергію. Тому подолання границь зерен дислокаціями при їхньому русі важке, для цього необхідно прикласти додаткову енергію. Дислокації, що генеруються в зерні, скупчуються перед границею зерна, створюючи поле напружень. Для його подолання необхідно прикласти додаткові напруження.

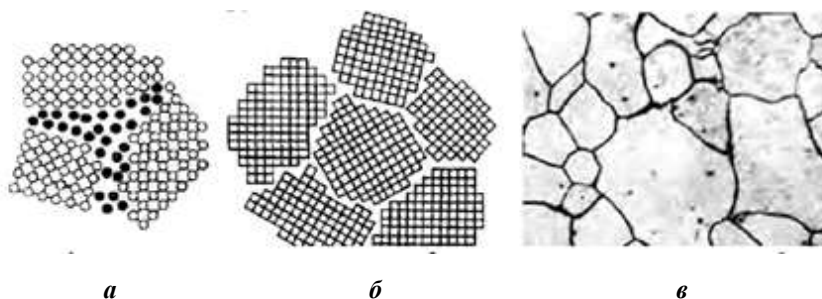


Рис. 5.1. Схема розташування домішкових атомів на границях зерен (а); схема зеренної структури (б); мікроструктура фериту (в)

Тому, чим більша довжина міжфазних границь, тим сильніше їхній "бар'єрний ефект" впливає на рух дислокацій і тим більше зміцнення металу або сплаву при кімнатній температурі. Тобто, дрібнозерниста структура металу в більшій мірі сприяє зміцненню, ніж крупнозерниста. Крупнозерниста структура забезпечує більш високу пластичність сплавів.

Мікроаналіз дозволяє визначити розміри зерен. Для цього існують визначені методики розрахунку розмірів зерен, які систематизовані за номерами зерен (балами зерен) при визначеному збільшенні та регламентуються ГОСТ 5639–82 (рис. 5.2).

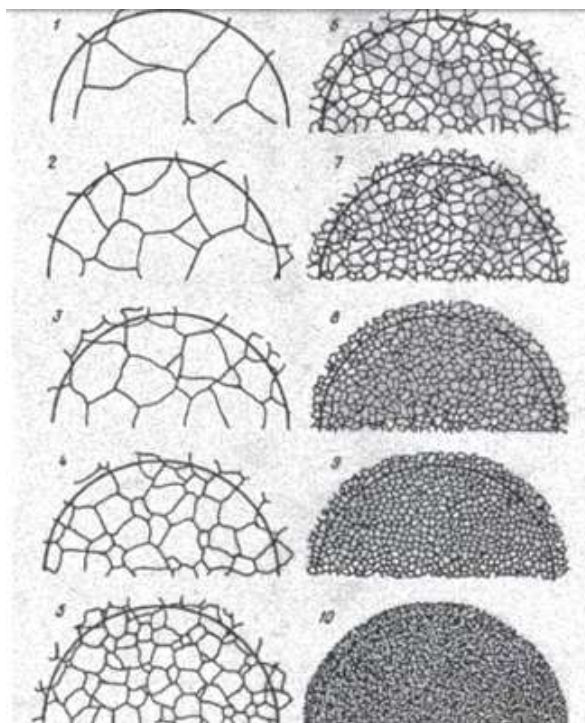


Рис. 5.2. Шкали для визначення розміру зерна (ГОСТ 5639-82)

Шкали балів подані десятима еталонами у вигляді схематизованої сітки, яка обмежує розміри зерен. Еталони дані у вигляді круга діаметром 79,8 мкм, що складає площу 5000 нм^2 або натуральної площі мікрошліфу при збільшеннях $100\times - 0,5 \text{ мм}^2$. Номер зерна відповідає кількості зерен, які поміщаються в площі шліфу розміром $0,5 \text{ мм}^2$ при збільшенні $100\times$ згідно з таким рівнянням: $5n = 2N + 3$, (1) де: n – середнє число зерен; N – номер балу зерна. Разом із шкалами балів наводиться таблиця наступних даних: площа зерна в мм^2 ; кількість зерен на 1 мм^2 площі шліфу; кількість зерен в 1 мм^3 ; середній діаметр зерна. Тобто, визначивши номер балу зерна, можна визначити лінійні розміри зерен (рис. 5.3).

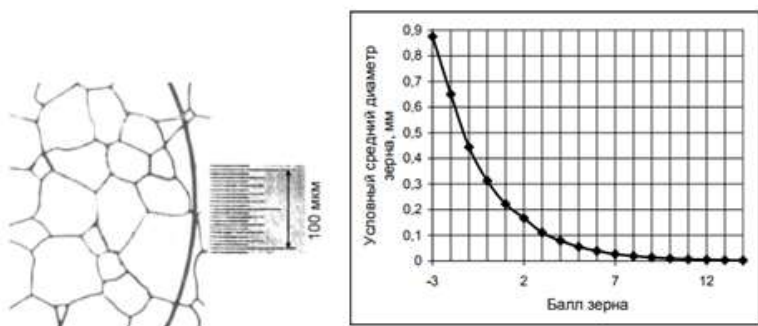


Рис. 5.3. Розмір зерен, що відповідають балу 5 шкали (а) та співвідношення середнього умовного діаметра зерна в мм і балу зерна (б) за ГОСТ 5639-82

Визначення частки фаз і структурних складових точковим методом Глаголева

Якщо структура досліджуваного сплаву складається із світлих і темних структурних складових і на ньому необхідно визначити процентне відношення цих складових, то цю задачу можна вирішити точковим методом.

Метод полягає в тому, що в полі мікрошліфа розмішують у будь-якому порядку необхідне число точок та підраховують число точок, які попадають на різні фази. Відносне число точок, які попали на дану фазу, є пропорційним площі цієї фази на шліфу та її об'єму. Для визначення кількості фази в середину окуляра $7\times$ поміщають скляну пластинку з нанесеною на неї сіткою. При сфокусованому зображенні сітка окуляра накладається на зображення структури, яке спостерігається в мікроскопі (рис. 5.4). Підраховують число точок n , які попали на вибрану фазу. Точки, які розміщені на включеннях фази (n_ϕ), приймаються за одиниці, а точки, які дотикаються включень ($n_{\text{дот}}$), – належать порівну обом фазам, тому їх кількість ділять пополам. Загальне число точок, які попали на вибрану фазу:

$$n = n_\phi + \frac{1}{2} n_{\text{дот}}. \quad (5.1)$$

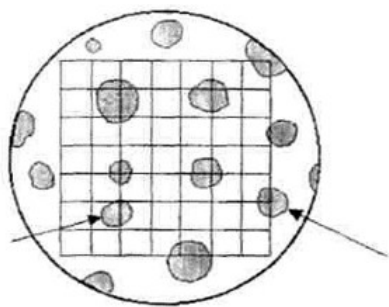


Рис. 5.4. Розміщення сітки окуляра в полі зору мікрошліфа. Структура чавуну з включеннями графіту сферичної форми (стрілками показані включення, які займають половину вузлової точки, і такі, що займають її повністю)

Кількість точок треба підраховувати в декількох полях зору. При цьому загальне число включень в цих полях має бути біля 200. При збільшенні мікроскопа $\times 100$ часто достатньо трьох полів зору. Усреднюючи n по всім полям зору,

отримують середнє значення n_c . Об'ємна доля фаз розраховується за формулою

$$W_\phi = \frac{n_c}{N} \cdot 100 \%, \quad (5.2)$$

де N – загальне число точок.

Для розрахунку масової кількості фази (m_ϕ , %) необхідно врахувати її густину (γ_ϕ) та густину решти сплаву – матриці (γ_m):

$$m_\phi = \frac{\gamma_\phi \cdot W_\phi}{\gamma_\phi \cdot W_\phi + \gamma_m \cdot W_m} \cdot 100\%, \quad (5.3)$$

де W_m – об'ємна частка матриці (%), яка дорівнюватиме $(100 - W_\phi)$.

Лінійний метод Розіваля

В основу методу покладено принцип, згідно з яким залежність між об'ємами двох тіл, поміщених між паралельними площинами, зберігається і для площі перерізів цих тіл паралельними площинами.

Поле мікрошліфа перетинається лініями. Лінії можуть бути і прямими, і кривими, але повинні охоплювати всю досліджувану площу та розподілятися по ній рівномірно. Чим довші лінії, тим вища точність визначення.

Щоб визначити частку окремої фази, необхідно просумувати довжини відрізків, які попали на цю фазу, а потім суму поділити на загальну довжину лінії. Для отримання надійного середнього значення, вимірювання проводять в декількох полях зору, рівномірно розподілених по площі шліфа. Вимірювання можуть проводитись методом нерухомого та

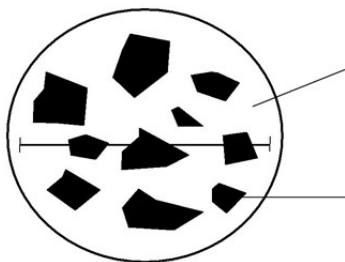


Рис. 5.5. Визначення фазового складу лінійним методом Розівалія

рухомого шліфа. При використанні першого методу користуються окуляр-мікрометром зі шкалою, яка розділена на 100 рівних частин. Наприклад, при дослідженні двофазної структури (рис. 5.5) на фазу А попало 80 поділок шкали, а на фазу В – 20. Отже, вміст фаз А та В на лінії шкали визначиться відповідно цифрами 80 і 20 %.

Визначення середнього діаметра зерна методом випадкових січних

На фотографії мікроструктури в довільних напрямках проводять лінії. При збільшенні зображення мікроструктури $\times 100$ довжина лінії повинна бути 60 мм, що відповідає дійсній довжині 0,6 мм на шліфі. Для кожної лінії підраховують кількість перетинів меж зерен. Розділивши сумарну довжину ліній на загальне число перетинів з границями, розраховують середній умовний діаметр зерен. Мінімальне число ліній на шліфі – чотири лінії (рис. 5.6).

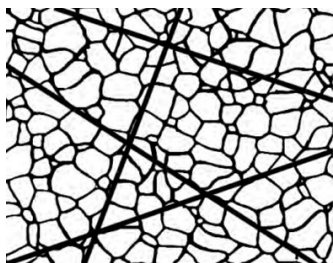


Рис. 5. 6. Схематичне зображення мікроструктури з проведеними січними лініями

Крім безпосередніх вимірювань і розрахунків у кількісній металографії зараз використовують спеціальні мікроскопи (типу "Квантимет", "Епиквант"), які можуть автоматично визначати процентне відношення фаз і структурних складових та визначати розміри зерен.

5.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з методами кількісного металографічного аналізу структури сплавів.

2. По фотографії мікроструктури визначити об'ємну частку окремої фази сплаву за лінійним методом Розівалія і точковим методом Глаголева.

3. Визначити вміст вуглецю в доєвтектоїдних сталях методом комп'ютерної металографії "МЕГРАН".

4 Оформити звіт: сформулювати мету роботи і навести теоретичні відомості, представити фотографії мікроструктур заданих сплавів, розрахунки, проаналізувати отримані результати.

5.3. Прилади, матеріали та інструменти

Для виконання лабораторної роботи необхідно мати металографічний мікроскоп, мікрошліфи, цифрову камеру, окуляр-мікрометр.

5.4. Контрольні питання

1. З якою метою проводять кількісний металографічний аналіз?

2. За яких обставин використовують бальний метод визначення окремих фаз?

3. Основні статистичні методи кількісного аналізу.

4. Яка суть лінійного методу Розівалія?

5. Яка суть точкового методу Глаголева?

ЗМІСТ

<i>Лабораторна робота № 1. Методи визначення твердості.....</i>	<i>3</i>
<i>Лабораторна робота № 2. Дослідження будови втомлених зламів</i>	<i>18</i>
<i>Лабораторна робота № 3. Дослідження впливу передре- кристалізаційної термічної обробки на твердість металів</i>	<i>29</i>
<i>Лабораторна робота № 4. Аналіз впливу структури на фізико-механічні властивості металів і сплавів</i>	<i>36</i>
<i>Лабораторна робота № 5. Застосування методів кількісної металографії для визначення розміру структурних складових та відносного вмісту фаз</i>	<i>43</i>

Навчальне видання

ДУБОВИЙ Олександр Миколайович
ЛЕБЕДЄВА Наталя Юріївна

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни
"Прикладне матеріалознавство"

Комп'ютерне складання та верстання *В. В. Москаленко*
Коректор *М. О. Паненко*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,1. Тираж 100 прим. Вид № 41. Зам. № 179.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025

E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.

ДЛЯ ЗАДАТОК

ДЛЯ ЗАДАТОК

ДЛЯ ЗАДАТОК