

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чернігівський національний технологічний університет**

**МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
В БУДІВНИЦТВІ**

**Методичні вказівки**

до виконання лабораторних робіт  
для студентів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Обговорено і рекомендовано  
на засіданні кафедри  
зварювального виробництва та  
автоматизованого проектування  
будівельних конструкцій  
протокол № 4 від 14.11.17 р.

Чернігів ЧНТУ 2017

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Методи експериментальних досліджень в будівництві” для студентів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. /Укл. Л.Я. Березін. – Чернігів: ЧНТУ, 2017. – 74 с.

Укладач: Березін Леонід Якович, кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва і автоматизованого проектування будівельних конструкцій

Відповідальний за випуск: Прибитько Ірина Олександрівна, завідувач кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор кафедри зварювального виробництва і автоматизованого проектування будівельних конструкцій Чернігівського національного технологічного університету

## ЗМІСТ

<b>1 Лабораторна робота № 1</b>	
Вивчення металографічного мікроскопа .....	4
<b>2 Лабораторна робота № 2</b>	
Визначення структурного складу матеріалу по об'єму точковим методом.....	14
<b>3 Лабораторна робота № 3</b>	
Дослідження властивостей поверхні матеріалу за допомогою крайового кута змочування та оптичного матеріалознавства.....	22
<b>4 Лабораторна робота № 4</b>	
Методи визначення мікрошорсткості поверхонь.....	27
<b>5 Лабораторна робота № 5</b>	
Механічні випробування на розтяг і твердість.....	33
<b>6 Лабораторна робота № 6</b>	
Механічні випробування на ударну в'язкість.....	41
<b>7 Лабораторна робота № 7</b>	
Приготування мікрошліфів з металів і неметалів та їх металографічний аналіз.....	44
<b>8 Лабораторна робота № 8</b>	
Дослідження впливу термообробки сталі на її твердість.....	59
<b>9 Лабораторна робота № 9</b>	
Механічні випробування бетону .....	69

## ВИВЧЕННЯ МЕТАЛОГРАФІЧНОГО МІКРОСКОПА

**Мета роботи** – отримання навичок роботи на металографічному мікроскопі.

### 1.1 Теоретичні відомості

В основі металографічного аналізу лежить зразок, що досліджується. Це може бути частиною вузла конструкції, перехідною зоною з'єднання або частиною об'єму матеріалу визначених розмірів та оброблених у відповідності до виду досліджень та за стандартними методиками.

При використанні металографічного аналізу поверхні та об'єму збільшення складає до 1000 *крат*, а при використанні ультрафіолетових променів або імерсії до 1800 – 2000 *крат*.

Оптична мікроскопія дозволяє проводити, як якісний, так і кількісний структурно-фазовий аналіз матеріалів.

В теоретичному плані металографічного аналізу лежить *перше основне стереометричне співвідношення*, згідно якого доля фази в об'ємі сплаву  $\Sigma V_{\alpha}$ , на площі шліфа  $\Sigma F_{\alpha}$ , на січній лінії  $\Sigma h_{\alpha}$  і доля випадкових точок  $Z_{\alpha}$ , які потрапили на фазу, дорівнюють одне одному (1.1):

$$\Sigma V_{\alpha} = \Sigma F_{\alpha} = \Sigma h_{\alpha} = \Sigma Z_{\alpha}. \quad (1.1)$$

Співвідношення (1.1) виведено математично строго. Воно показує, що вимірювання відносного об'єму фази (або структурної складової) у сплаві можна замінити вимірюванням та підсумовуванням площ на одиниці площі шліфа, довжин відрізків на одиниці довжини січної лінії або підрахунком числа випадкових точок на шліфі. Визначення об'ємної долі фаз сплаву можна робити по одному з цих трьох варіантів, незалежно від загального числа фаз або структурних складових сплаву.

На основі цього співвідношення біли розроблені наступні методи визначення кількісного фазового складу об'єкта:

- лінійний;
- точковий;
- планіметричний.

З вказаних трьох методів:

- лінійний – найпродуктивніший, але менш точний;
- точковий більш трудомісткий ніж лінійний, але більш точний і є найбільш використовуваним;
- планіметричний найбільш точний, але найбільш трудомісткий.

За лінійним методом на поле зору мікроскопа (те, що бачить дослідник в окуляр) накладається лінійна шкала, за точковим квадратна сітка (рис. 1.1), за планіметричним методом вимірюється сумарна площа перерізу мікрочастинок

даної структурної складової на визначеній площі металографічного шліфа.

За точковим методом підраховується кількість точок сітки, що лягли на фазу, кількість якої визначається. Таких сіток накладається декілька на різні (послідовні) поля зору і визначається відносна кількість цих точок до загальної кількості всіх точок в накладених сітках. В такому випадку кількість фази визначається:

$$\Sigma V_{\alpha} = \frac{n}{Z} 100\%, \quad (1.2)$$

де  $\Sigma V_{\alpha}$  – об'ємна частка фази, що визначається, в матеріалі, %;

$n$  – кількість точок сіток, що лягли на фазу, кількість якої визначається;

$Z$  – загальна кількість всіх точок в накладених сітках.

На практиці знайшло використання дослідження поверхні злому після механічного руйнування зразків – **фрактографія**. Основна ціль досліджень зломів деталей, це встановлення причин руйнування матеріалу, а зломів зразків – виявлення особливостей будови матеріалу.

**Мікроскоп МІМ-7.** Вертикальний металографічний мікроскоп МІМ-7 є моделлю вертикальних металомікроскопів і призначений для спостереження і фотографування мікроструктури металів у звичайному світлі (у світлому й темному полі) і в поляризованому світлі (у світлому полі). Мікроскоп забезпечує збільшення від 60 до 1440 разів при візуальному спостереженні та від 70 до 1350 разів при фотографуванні. Загальний вигляд мікроскопа показаний на рисунку 1.1.

**Оптична система мікроскопа.** Системою, що складається з лінз *6* й *10*, призми *9* і пластини, що відбиває *11* (рис. 1.2), апертурна діафрагма зображується в площині опорного торця для об'єктивів. Пластина, що відбиває, *11* направляє в об'єктив промені, які, відбившись від об'єктива, знову проходять через об'єктив, виходять із нього паралельним пучком, проходять пластину, що відбиває, й попадають на ахроматичну лінзу *14*.

Отже, об'єктив є частиною освітлювальної системи. Паралельні промені, що виходять з об'єктива за допомогою лінзи *14* відбивають зображення об'єкта у фокальній площині окуляра. При візуальному спостереженні на шляху променів вводиться дзеркало *18*, що відхиляє промені в бік окуляра *19*. При фотографуванні дзеркало *18* вимикається, і промені проходять до фотоокуляра *15*. За фотоокуляром *15* знаходиться дзеркало *16*, що направляє промені на фотографічну пластину. Польова діафрагма *8* служить для обмеження ділянки об'єкта, що спостерігається.

При роботі в темному полі замість лінзи *10* встановлюється лінза *22* і включається діафрагма *23*. Пройшовши лінзу *22*, світло йде паралельним пучком. Так як на шляху променя знаходиться діафрагма *23*, то на дзеркало *25* падає пучок променів у вигляді світлового кільця. Відбившись від дзеркала *25*,

промені падають на внутрішню дзеркальну поверхню параболічного дзеркала 24 епіоб'єктива. Відбившись від параболічного дзеркала, промені концентруються на предметі. При настроюванні освітлення апертурну діафрагму 5 (рис. 1.2) необхідно встановити на нульову позначку на шкалі.

**Умови правильного використання мікроскопа при роботі.** Включити лампу. На оправу освітлювальної лінзи 7 (рис. 1.1, б) покласти матове скло або аркуш паперу. Пересуванням ліхтаря спроектувати нить лампи в площину апертурної діафрагми 5. За допомогою гвинтів, що центрують, 12 (рис. 1.1, б) ліхтаря лампи домогтися, щоб зображення ниті лампи зайняло центральне положення щодо отвору діафрагми. При необхідності перемістити патрон з лампою. Рукояткою 14 (рис. 1.1, а) підняти предметний столик та вставити об'єктив. У візуальний тубус 5 вставити окуляр.

Величину відкриття апертурної діафрагми підбирають досліdnим шляхом, домагаючись найкращої якості зображення об'єктів. Як правило, апертурна діафрагма відкривається на  $2/3$  діаметра зіниці, якщо дивитися у візуальний тубус осі окуляра.

Польова діафрагма 8 (рис. 1.2) призначена для обмеження поля зору в площині об'єкта (відповідно до поля зору окуляра, що застосовується) або для виділення ділянки об'єкта, що цікавить дослідника. Центрування польової діафрагми виконується гвинтами 3 (рис. 1.1, б).

Косе висвітлення здійснюється зсувом з осі апертурної діафрагми гвинтами 9. Апертурна діафрагма обертається на  $360^\circ$ , тому напрямок косоного висвітлення може бути орієнтований на вибір дослідника. Положення діафрагми фіксується гвинтом 10. При зсуві апертурної діафрагми необхідно також змістити джерело світла, тобто за допомогою гвинтів 12, що центрують, привести зображення ниті лампи знову в центр апертурної діафрагми.

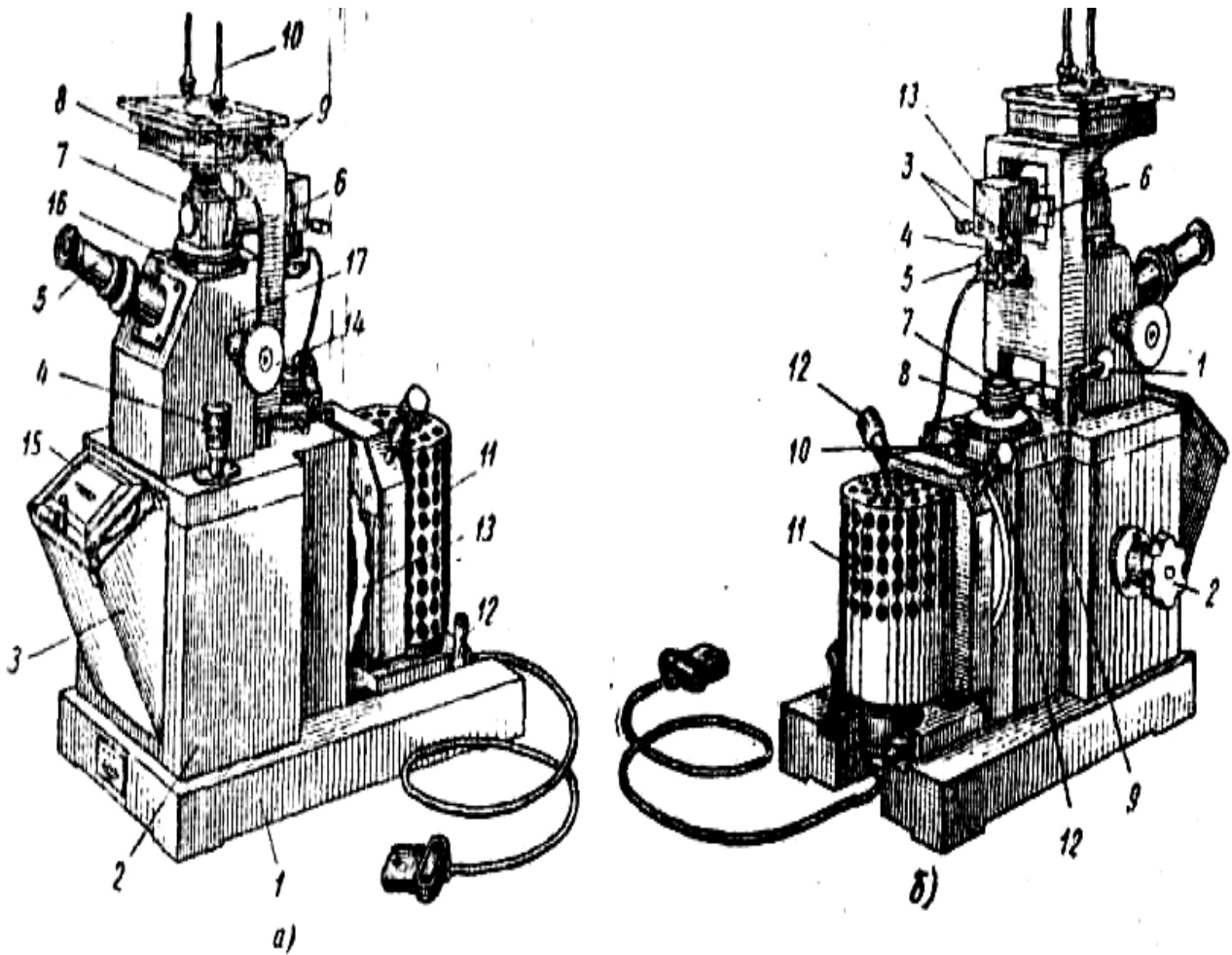
Спостереження в поляризованому світлі ведеться тільки у світлому полі, тому настроювання освітлення й положення апертурної й польової діафрагм залишаються як у попередньому випадку. Поляризатор в оправі насаджується на оправу освітлювальної лінзи 7 так, щоб риска на оправі поляризатора сполучилася з ризкою на оправі лінзи.

Аналізатор в оправі з рукояткою вставляється в паз під корпусом ілюмінатора. Положення рукоятки аналізатора на  $0^\circ$  вказує, що площини поляризації поляризатора й аналізатора паралельні. Положення рукоятки аналізатора на  $90^\circ$  вказує, що площини поляризації поляризатора й аналізатора схрещені, тобто поляризатори встановлені на повне гасіння.

Для спостереження об'єктів у темному полі варто відкрити апертурну й польову діафрагми повністю, пересунути рамку 6 (рис. 1.1, б) для включення лінзи 22 (рис. 1.2) темного поля.

Для включення діафрагми 23 розгорнути за годинниковою стрілкою до упору рукоятку 6 (рис. 1.1, а) на корпусі відбивача. Апертурну діафрагму встановити в центральне положення й спроектувати на неї нитку лампи. За допомогою гвинтів 12 (рис. 1.1, б) встановити нитку лампи центрично отвору

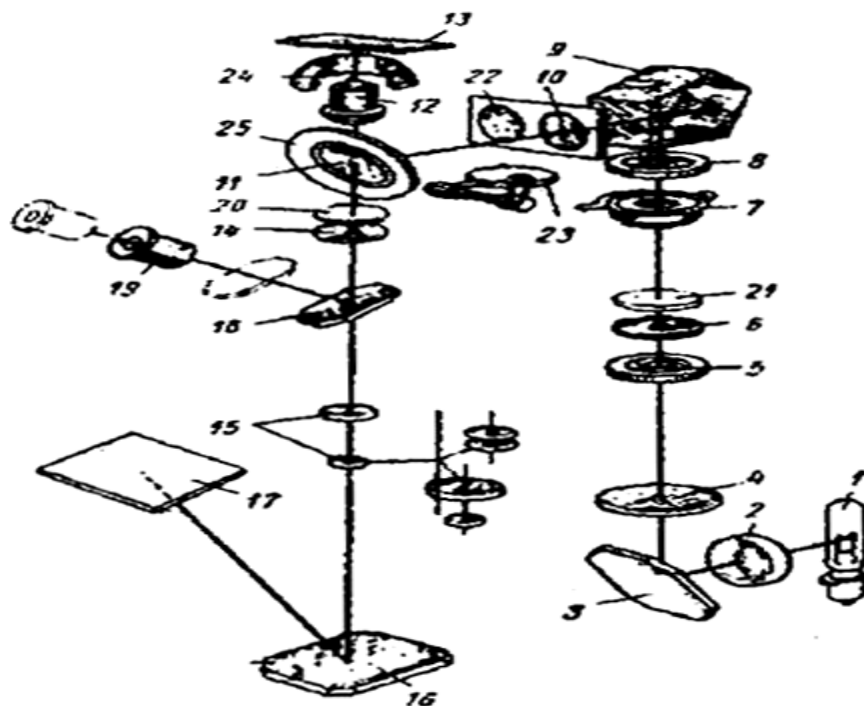
апертурної діафрагми. Після настроювання висвітлення необхідно встановити об'єktiv для темного поля.



**а** – вид спереду: 1 – підставка мікроскопа; 2 – корпус;  
 3 – фотокамера; 4 – гвинт мікрометричної подачі об'єктива;  
 5 – візуальний тубус; 6 – рукоятка діафрагми темного поля;  
 7 – ілюмінатор; 8 – предметний столик; 9 – гвинти переміщення столика;  
 10 – клеми; 11 – освітлювач; 12 – рукоятка стопорного пристрою  
 освітлювача; 13 – рукоятка диска з набором світлофільтрів; 14 – гвинт  
 грубої подачі столика; 15 – матова пластинка в рамці; 16 – аналізатор;  
 17 – корпус центральної частини;

**б** – вид ззаду: 1 – стопорна рукоятка грубої подачі;  
 2 – рукоятка окулярів; 3 – гвинти польової діафрагми, що центрують;  
 4 – рукоятка польової діафрагми; 5 – фотозатвор; 6 – рамка з додатковими  
 лінзами; 7 – оправа освітлювальної лінзи; 8 – кільце апертурної діафрагми;  
 9 – гвинт зсуву апертурної діафрагми; 10 – стопорний гвинт;  
 11 – освітлювач; 12 – гвинти, що центрують; 13 – кожух пентапризми

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд мікроскопа МІМ-7



- 1 – лампа; 2 – колектор; 3, 16, 18, 25 – дзеркала;  
 4 – світлофільтри (синій, жовто-зелений, жовтогарячий, зелений);  
 5 – апертурна діафрагма; 6, 10, 22 – лінзи; 7 – фотозатвор;  
 8 – польова діафрагма; 9 – пентапризма; 11 – відбивна пластинка;  
 12 – об'єктив; 13 – площина предмета; 14 – ахроматична лінза;  
 15 – фотоокуляр; 17 – матова пластинка; 19 – окуляр;  
 20 – вкладний аналізатор; 21 – поляризатор;  
 23 – діафрагма; 24 – параболічне дзеркало

Рисунок 1.2 – Оптична схема ходу променів в мікроскопі МІМ-7 при роботі у світлому полі

Оптичні дані об'єктивів й окулярів наведені в таблицях 1.1 та 1.2, а збільшення мікроскопа МІМ-7 в таблиці 1.3.

Таблиця 1.1 – Оптичні дані об'єктивів мікроскопа МІМ-7

Позначення об'єктива	Збільшення об'єктива	Апертура	Фокусна відстань, мм	Вільна відстань, мм	Призначення
Ахромат F=23,2 A=0,17	8,6	0,17	23,2	6,2	Для світлого й темного поля
Ахромат F=13,9 A=0,30	14,4	0,30	13,9	5,71	
Ахромат F=8,2 A=0,37	24,5	0,37	8,2	2,6	
Ахромат F=6,2 A=0,65	32,2	0,65	6,2	0,87	
Ахромат F=2,77 A=1,25	72,2	1,25	2,77	0,44	Для світлого поля
Ахромат F=2,8 A=1 імерсійний	71,7	1	2,8	0,65	Для темного поля



Таблиця 1.2 – Оптичні дані окулярів мікроскопа МІМ-7

Позначення окуляра	Збільшення окуляра	Фокусна відстань, мм	Призначення	Позначення окуляра	Збільшення окуляра	Фокусна відстань, мм	Призначення
7X	7	35,9	Для візуальних спостережень	7X	7	26	Для фотографування
10X	10	25		10X	10	25	
15X	15	17		15X	15	17	
20X	20	12,6					

Таблиця 1.3 – Збільшення мікроскопа МІМ-7

Позначення об'єктива	На матовому склі			При візуальному спостереженні			
	Окуляри						
	7X	10X	15X	7X	10X	15X	20X
F=23,2 A=0,17	(70)	120	160	(60)	90	130	170
F=13,9 A=0,30	(115)	200	270	(100)	140	200	300
F=8,2 A=0,37	200	340	450	170	240	360	500
F=6,2 A=0,65	(260)	440	600	(250)	320	500	(650)
F=2,77 A=1,25	575	1000	1350	500	720	1080	(1440)
F=2,8 A=1	575	1000	(1350)	500	720	1080	(1440)

Примітка. Збільшення, що стоять в дужках, застосовувати не рекомендується

**Вибір об'єктива і окуляра для перегляду мікрошліфів.** Складова структури, наприклад, зерно чистого металу, стане видимою для ока в мікроскопі за умови:

$$N_m = 0,2 : a, \quad (1.3)$$

де  $N_m$  – збільшення мікроскопа;

$a$  – розмір складової структури в мм;

0,2 – відстань у мм між двома точками, що роздільно сприймається оком.

Збільшення мікроскопа  $N_m$  знаходиться по апертурі об'єктива  $A$  за формулою Аббе:

$$N_m = (500 - 1000) A, \quad (1.4)$$

звідки

$$A = \frac{N_m}{500 - 1000}. \quad (1.5)$$

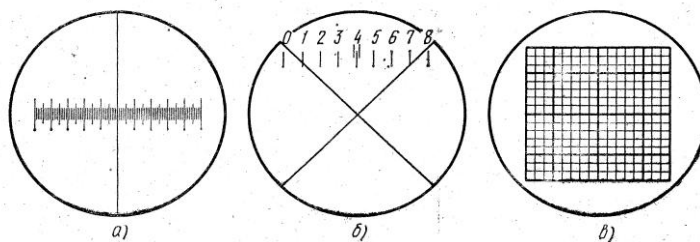
Визначивши максимальну  $A_1$  і мінімальну  $A_2$  апертури, вибирають по таблиці 1.3 об'єктив, апертура якого має значення в межах  $A_1 - A_2$ .

Зі співвідношення  $\frac{N_{\text{мікроскопа}}}{N_{\text{об'єктива}}} = N_{\text{окуляра}}$  знаходять збільшення для окуляра.

По знайденому значенню  $N_{\text{окуляра}}$  по таблиці 1.2 та таблиці 1.3 вибирають окуляр.

**Проведення кількісних досліджень.** При проведенні кількісних досліджень (визначення величини зерна, структурної складової, товщини шару

та т. і.) використовують окулярні вкладиші (рис. 1.3). Це скляні пластинки, на які нанесена шкала (звичайно на 100 поділок), квадратна сітка, перехрестя та т.і. Ці пластинки вставляють в окуляр між лінзами.



а – з шкалою; б – з перехрестям; в – з сіткою

Рисунок 1.3 – Окулярні вкладиші

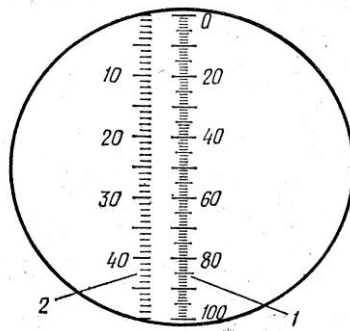
Окуляр з вимірювальним вкладишем має назву окуляр-мікрометр. Відстань між поділками шкали звичайно дорівнює 0,1 мм. Так як окуляри використовують в комбінації з різними об'єктивами, то для кожного збільшення ціна поділки окуляр-мікрометра визначається окремо за допомогою об'єкт-мікрометра.

**Об'єкт-мікрометр.** Об'єкт-мікрометр являє собою пластинку зі шкалою. На шкалі нанесено 100 поділок, відстань між двома окремими поділками 0,01 мм, а загальна довжина шкали 1 мм. Об'єкт-мікрометр використовується для визначення збільшення мікроскопа і виконання абсолютних вимірювань з окулярами.

Ціну поділки окуляр-мікрометра при заданому збільшенні визначають наступним чином. На предметному столику розміщують об'єкт-мікрометр шкалою до низу. В тубус мікроскопа встановлюють окуляр-мікрометр і, шляхом переміщення окулярної лінзи в тубусі, отримують різке зображення шкали окуляра. За допомогою грубої та мікрометричної подач отримують різке зображення шкали об'єкт-мікрометра. Ретельно сфокусувавши, роблять суміщення зображення шкал об'єкт-мікрометра і окуляр-мікрометра. Повертаючи окуляр-мікрометр обидві шкали встановлюють паралельно (рис. 1.4). Вибирають цілу кількість поділок шкали об'єкт-мікрометра  $m$ . По шкалі окуляр-мікрометра визначають скільки поділок  $n$  шкали окуляра займуть зображення вибраної кількості поділок шкали об'єкт-мікрометра. Ціну поділки окуляр-мікрометра (мм) визначається по формулі (1.6):

$$d_{ок} = D_{об} \frac{m}{n}, \quad (1.6)$$

- де  $d_{ок}$  – ціна поділки окуляр-мікрометра, мм;  
 $D_{об}$  – ціна поділки шкали об'єкт-мікрометра;  
 $m$  – кількість поділок шкали об'єкт-мікрометра;  
 $n$  – кількість поділок шкали окуляр-мікрометра.



1 – шкала об'єкт-мікрометра; 2 – шкала окуляр-мікрометра

Рисунок 1.4 – Суміщення шкали об'єкт-мікрометра зі шкалою окуляр-мікрометра при визначенні ціни поділки шкали окуляр-мікрометра

Наприклад, при даному збільшенні 40 поділок шкали об'єкт-мікрометра займають 20 поділок шкали окуляр-мікрометра. Ціна поділки об'єкт-мікрометра 0,01 мм. В такому разі ціна поділки окуляр-мікрометра при даному збільшенні буде:

$$d_{ок} = 0,01 \frac{40}{20} = 0,02 \text{ мм.}$$

Для визначення розміру об'єкта  $h_{ок}$  по шкалі окуляр-мікрометра використовують формулу (1.7):

$$h_{ок} = n \cdot d_{ок}, \quad (1.7)$$

Щоб перевірити збільшення при фотографуванні проводять аналогічні вимірювання, але при цьому визначають кількість поділок шкали об'єкт-мікрометра  $m$ , що встановлено на предметному столику, та кількість поділок шкали на матовому склі мікроскопу (при визначеному розтягненні камери). Ціна однієї поділки шкали на матовому склі дорівнює 1 мм. Наприклад, одна поділка шкали об'єкт-мікрометра розташувалася в 6 поділках шкали матового скла. Тоді збільшення при фотографуванні буде:

$$\beta_{\phi} = \frac{1 \cdot 6}{0,01 \cdot 1} = 600.$$

**Перевірка збільшення мікроскопа.** Для того, щоб перевірити збільшення мікроскопу дослідним шляхом за допомогою об'єкт-мікрометра, виконують наступне. Об'єкт-мікрометр встановлюють на предметний столик, а на відстані 250 мм від ока спостерігача встановлюють масштабну лінійку. Виконують суміщення шкали об'єкт-мікрометра, що спостерігається одним оком скрізь окуляр мікроскопу, з поділками масштабної лінійки, що

спостерігається другим оком. Визначають, скільки поділок шкали об'єкт-мікрометра вміщується на визначеній довжині шкали масштабної лінійки. Щоб визначити збільшення необхідно величину зображення на масштабній лінійці поділити на дійсну величину ділянки об'єкт-мікрометра. Наприклад, в 50 мм шкали масштабної лінійки вміщується 10 поділок шкали об'єкт-мікрометра. Збільшення мікроскопу в такому випадку дорівнює:

$$\beta_m = \frac{50}{0,01 \cdot 10} = 500.$$

**Користування мікрометричним барабаном окуляр-мікрометра.** При користуванні мікрометричним барабаном окуляр-мікрометра для визначення розмірів об'єкта  $h_{\delta}$ , що спостерігається, можна користуватися формулою (1.8):

$$h_{\delta} = n \cdot d_{\delta}, \quad (1.8)$$

де  $n$  – кількість поділок шкали мікрометричного барабану;  
 $d_{\delta}$  – ціна поділки шкали барабана окуляр-мікрометра, мм.

Для визначення ціни поділки шкали барабана  $d_{\delta}$  окуляр-мікрометра потрібно перемістити барабаном “позначку” у вигляді двох паралельних ліній (на рис. 1.3 вона знаходиться біля цифри 4) в нульове значення шкали окуляр-мікрометра. Перевірити, щоб шкала мікрометричного барабану знаходилася в нульовому положенні. Гвинтами переміщення столика 9 (рис. 1.1, а) поєднати нульове значення шкали об'єкт-мікрометра з нульовим значенням шкали окуляр-мікрометра. Обертаючи барабан окуляр-мікрометра встановити “позначку” напроти якої-небудь цифри (наприклад, 40) шкали об'єкт-мікрометра. По шкалі мікрометричного барабану визначити кількість поділок  $k$ . Ціна поділок шкали барабана окуляр-мікрометра визначається за формулою (1.9):

$$d_{\delta} = D_{\delta\delta} \frac{m}{k}, \quad (1.9)$$

де  $D_{\delta\delta}$  – ціна поділки шкали об'єкт-мікрометра;  
 $m$  – кількість поділок шкали об'єкт-мікрометра;  
 $k$  – кількість поділок на шкалі барабана окуляр-мікрометра.

## 1.2 Обладнання та матеріали

1.2.1 Мікроскопи МІМ-7 і МБС-9.

1.2.2 Мікрошліфи зразків для досліджень.

1.2.2 Ексикатор.

### **1.3 Методика проведення роботи**

1. Ознайомитися з будовою і принципом роботи мікроскопів. Звернути увагу на взаємне розташування деталей мікроскопів та їхнє використання при роботі для одержання зображення структури.

2. Зробити таблиці збільшень мікроскопів для об'єктів та окулярів, що є в наявності.

3. Розглянути надані мікрошліфи в мікроскопах, використовуючи різні збільшення зображення мікроструктури. За допомогою атласів мікроструктур визначити структурний, фазовий склад та матеріал наданих зразків. Для вибору оптимального варіанту об'єктива та окуляра для перегляду можна користуватися рекомендаціями, що наведені вище в теоретичних відомостях (формули (1.3) – (1.5)).

4. За результатами роботи по п. 3, вибрати для наданих мікрошліфів збільшення, яке б дозволяло бачити в окулярі мікроскопа всі особливості мікроструктури, дефекти і визначити їх розміри. Попередньо перед цим, для вибраного збільшення, визначити ціну поділок шкал окулярного вкладиша і мікрометричного барабану окуляр-мікрометра. При виконанні вказаної роботи користуватися рекомендаціями, що наведені вище в теоретичних відомостях (формули (1.6) – (1.9)).

Всі етапи роботи супроводжувати фотографуванням об'єктів, що спостерігаються.

### **1.4 Зміст звіту**

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Обладнання та матеріали.
3. Методика проведення роботи.
4. Результати роботи (розрахунки та їх результати, фотографії мікроструктур, що спостерігалися, особливості роботи з мікроскопом та спостережень тощо).
5. Висновки.

### **1.5 Захист роботи**

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 1.1.
2. Вміти виконати перелік робіт по п. 1.3.

### **Рекомендована література**

1. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография (стереометрия металлических материалов). – М.: «Металлургия», 1976. –271 с.
2. Конспект лекцій.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНОГО СКЛАДУ МАТЕРІАЛУ ПО ОБ'ЄМУ ТОЧКОВИМ МЕТОДОМ

**Мета роботи** – вивчення методики та набуття практичних навичок визначення структурного складу по об'єму матеріалу точковим методом.

#### 2.1 Теоретичні відомості

Точковий метод є частиною першого основного співвідношення (1.1) (лабораторна робота № 1) стереометричної металографії.

За точковим методом (рис. 2.1) підраховується кількість точок сітки, що лягли на фазу, кількість якої визначається. Таких сіток накладається декілька на різні (послідовні) поля зору і визначається відносна кількість цих точок до загальної кількості всіх точок в накладених сітках. В такому випадку кількість фази визначається:

$$\sum V = \frac{n}{Z} 100\% , \quad (2.1)$$

де  $\sum V$  – об'ємна частка фази, що визначається, в матеріалі, %;

$n$  – кількість точок всіх накладених сіток, що лягли на фазу, кількість якої визначається;

$Z$  – загальна кількість всіх точок в накладених сітках.

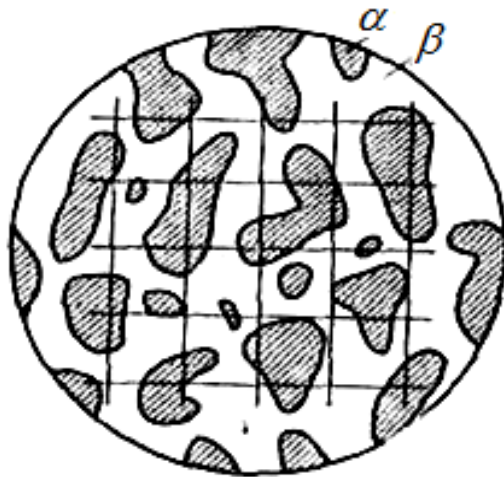


Рисунок 2.1 – Схема визначення об'ємних часток  $\alpha$  та  $\beta$  точковим методом шляхом накладення квадратної сітки з 25 вузловими точками

Сутність точкового методу можна проілюструвати наступним прикладом.

Уявимо собі поле, розділене на ряд нерівних ділянок, площі яких нам відомі. Все поле рівномірно засіяно, причому нам відомо загальне число зерен,

затрачених на посів. Якщо потрібно визначити число зерен, які потрапили на кожну із ділянок поля, задача елементарно проста, так як очевидно, що ці числа пропорційні площам ділянок поля. Але також легко розв'язується і зворотна задача: знайти площі кожної з ділянок, якщо нам відомі числа зерен, що потрапили на кожну з них окремо, тому що площі ділянок пропорційні числу зерен, що потрапили на них. Це положення і складає основу точкового методу: структуру, що аналізується, вкривають багатьма точками і підраховують їх число, що потрапило окремо на кожну зі структурних складових в окремості. Площі складових на шліфі пропорційні числам точок, що потрапили на них, і тим самим числам пропорційні і об'ємні долі складових в сплаві (рис. 2.1).

На рисунку 2.1 показана двофазна структура з накладеною на неї квадратною сіткою, яка має 25 вузлових точок. З них 8 точок потрапили на ділянки шліфа, що зайняті фазою  $\alpha$  (на рисунку заштрихована). Отже, при даному розташуванні сітки часток цієї фази дорівнює  $8/25 = 0.32$ , або 32 %. Повторні накладення сітки дозволяють визначити склад фази з будь-якою необхідною точністю і достовірністю. Якщо число структурних складових більше двох, підраховують числа вузлових точок, що потрапило окремо на кожну із складових. Ці числа, віднесені до їх суми, покажуть об'ємну долю кожної зі структурних складових в сплаві. Точки можна розташувати на площі шліфа в визначеному порядку (як на рис. 2.1) і хаотично (випадково). Однак, як показує практика, при упорядкованому розташуванні точок досягається більш висока точність визначення (при однаковому загальному числі точок).

Часто виникає необхідність визначення вмісту не всіх структурних складових сплаву, а тільки однієї з них (наприклад, неметалічної фази, карбідної фази і т.п.). При цьому може вийти, особливо при малому вмісті фази, що аналізується, або складової, що в деяких полях зору жодна вузлова точка сітки окуляра не припадає на цю складову. В такому випадку число вузлових точок сітки, помножене на число таких «порожніх» полів зору, обов'язково повинно ввійти в загальне число точок, використаних в процесі аналізу, і число точок, що потрапили на дану структурну складову, треба поділити на загальне число точок, щоб отримати об'ємну долю складової в сплаві.

Наприклад, при визначенні долі неметалічної фази по 100 полям зору з використанням сітки, що має 25 вузлових точок (рис. 2.1), в 90 полях зору жодна вузлова точка не потрапила на неметалічні включення. В інших 10 полях зору на неметалічну фазу потрапили 13 вузлових точок. Тоді долю неметалічної фази знайдемо з відношення числа 13 до загального числа точок, використаних при аналізі, враховуючи «порожні» поля зору ( $100 \cdot 25 = 2500$ ), і вона буде дорівнювати 0.0052, або 0.52%. Необхідно зазначити, що для отримання достовірного результату при такому малому вмісті структурної складової використане загальне число точок (2500) є недостатнім.

Процедура підрахунку точок може бути механізована. Для цього використовують прилади, що називаються інтеграторами (ротатор-інтегратори, пуш-інтегратори). Вони складаються з пристрою, що переміщує столик мікроскопа разом з розміщеним на ньому шліфом, і декількох механічних або

електричних лічильників, що сумують число натискань на кнопку або клавіші. Одночасно з натисканням на клавішу столик мікроскопа переміщується в нове положення. Структуру при цьому спостерігають в окуляр з сіткою рисок. Робота дослідника зводиться до упізнання структурної складової, котра знаходиться в даний момент в точці перехрестя окуляра, і натисканням на клавішу, відповідного цій складовій лічильника. Одночасно шліф переміщується в нове положення, спостерігач упізнає складову, що потрапила в точку перехрестя, і натискає відповідну клавішу і т.д. В результаті аналізу лічильники покажуть числа точок, що потрапили на кожен із структурних складових в окремість. Відношення цих чисел до їх суми покаже об'ємні долі кожної із складових в сплаві.

Точність отриманого при точковому аналізі результату обумовлена загальним числом використаних точок і залежить від об'ємної долі структурної складової, що аналізується, в сплаві.

Теорія вірогідності дозволяє встановити величину абсолютної похибки визначення  $\varepsilon_{абс}$ , виражену в частках площі шліфа або об'єму сплаву:

$$\varepsilon_{абс} = t \cdot \sqrt{\frac{\sum V \cdot (1 - \sum V)}{Z}} \quad (2.2)$$

Нормоване відхилення  $t$  визначає довірчу вірогідність отриманого результату аналізу у відповідності з даними таблиці 2.1 Роздивимось приклад розрахунку похибки проведеного точкового аналізу. Структура шліфу розглянута в 48 полях зору з використанням окулярної сітки з 25 вузловими точками (рис. 2.1). Загальне число використаних точок дорівнює  $48 \cdot 25 = 1200$ . З них 452 точки потрапили на задану структурну складову. Отже, шукана об'ємна частка цієї складової дорівнює:  $452 : 1200 = 0.3767$ , або 37.67 % по об'єму.

Приймаючи  $t = 0.6745$  (табл. 2.1), отримаємо за формулою (2.2) вірогідну абсолютну похибку аналізу, виражену в частках об'єму сплаву (або площі шліфа):

$$\varepsilon_{абс} = 0.6745 \cdot \sqrt{\frac{0.3767(1-0.3767)}{1200}} = 0.0094.$$

Отже, істина об'ємна частка структурної складової знаходиться в межах  $0.3767 \pm 0.0094$  з довірчу вірогідністю  $P = 0.50$ , тобто між 0.3673 і 0.3861, або між 36.73 % і 38.61 % (від усього об'єму). Відносна похибка дорівнює 2.5 %.

Для полегшення розрахунків по формулі (2.2) в таблиці 2.2 наведена залежність між величинами  $\sum V$  і  $\sqrt{\sum V \cdot (1 - \sum V)}$ .



Таблиця 2.1- Довірча вірогідність  $P$  для різних величин нормованого відхилення  $t$

$t$	$P$	$t$	$P$	$t$	$P$
0.10	0.0796	1.40	0.8384	0.50	0.6745
0.20	0.1586	1.50	0.8664	0.60	0.8416
0.30	0.2358	1.60	0,8904	0.70	1,0364
0.40	0,3108	1.70	0,9108	0.80	1,2816
0.50	0,3830	1.80	0,9282	0.90	1,6449
0.60	0,4514	1.90	0,9426	0.95	1,9600
0.70	0,5160	2.00	0,9544	0.98	2,3263
0.80	0,5762	2.20	0,9722	0.99	2,5758
0.90	0,6318	2.40	0,9832	0,998	3,0902
1.00	0,6826	2.60	0,9906		
1.10	0,7286	2.80	0,9948		
1.20	0,7698	3.00	0,9973		
1.30	0,8064	4.00	0,99994		

Таблиця 2.2 – Залежність між величинами  $\Sigma V$  та  $\sqrt{\Sigma V \cdot (1 - \Sigma V)}$

$\Sigma V$		$\sqrt{\Sigma V \cdot (1 - \Sigma V)}$	$\Sigma V$		$\sqrt{\Sigma V \cdot (1 - \Sigma V)}$
0.01	0.99	0.0995	0.26	0.74	0.4336
0.02	0.98	0.1400	0.27	0.73	0.4440
0.03	0.97	0.1706	0.28	0.72	0.4490
0.04	0.96	0.1906	0.29	0.71	0.4538
0.05	0.95	0.2179	0.30	0.70	0.4583
0.06	0.94	0.2375	0.31	0.69	0.4625
0.07	0.93	0.2551	0.32	0.68	0.4665
0.08	0.92	0.2713	0.33	0.67	0.4702
0.09	0.91	0.2862	0.34	0.66	0.4737
0.10	0.90	0.3000	0.35	0.65	0.4770
0.11	0.89	0.3129	0.36	0.64	0.4800
0.12	0.88	0.3250	0.37	0.63	0.4828
0.13	0.87	0.3363	0.38	0.62	0.4854
0.14	0.86	0.3470	0.39	0.61	0.4878
0.15	0.85	0.3571	0.40	0.60	0.4899
0.16	0.84	0.3666	0.41	0.59	0.4918
0.17	0.83	0.3756	0.42	0.58	0.4936
0.18	0.82	0.3842	0.43	0.57	0.4951
0.19	0.81	0.3923	0.44	0.56	0.4964
0.20	0.80	0.4000	0.45	0.55	0.4975
0.21	0.79	0.4073	0.46	0.54	0.4984
0.22	0.78	0.4142	0.47	0.53	0.4991
0.23	0.77	0.4208	0.48	0.52	0.4996
0.24	0.76	0.4271	0.49	0.51	0.4999
0.25	0.75	0.4330	0.50	0.50	0.5000

Якщо потрібно заздалегідь, до виконання аналізу, визначити число точок, необхідне для отримання заданої вірогідної абсолютної помилки, можна використати дані таблиці 2.3. При цьому заздалегідь приймають приблизний склад складової в сплаві, що аналізується, визначив його „на око”.

Якщо при розрахунку похибки або числа точок необхідно виходити не з вірогідної помилки, а з помилки з іншою довірчою вірогідністю, розрахунок

слід вести за рівнянням (2.2), вибравши в таблиці 2.1 значення нормованого відхилення  $t$ , відповідної заданої довірчої вірогідності  $P$ .

Таблиця 2.3 – Мінімальне число точок, необхідне для отримання вірогідної абсолютної похибки  $\varepsilon_{абс}$  при точковому і лінійному аналізах

Абсолютна похибка $\varepsilon, \%$	Кількість фази $\alpha, \%$						
	1 99	2 98	3 97	4 96	5 95	10 90	15 85
0,1	4400	8700	12932	17065	21109	39996	56661
0,2	---	2178	3233	4266	5277	10000	14165
0,3	---	968	1438	1897	2347	4446	6299
0,4	---	---	809	1068	1321	2502	3545
0,5	---	---	518	684	846	1612	2270
1	---	---	----	---	----	400	567
2	---	---	----	---	----	-----	142
3	---	----	----	---	----	-----	----
4	---	---	----	---	----	-----	-----

Продовження таблиці 2.3

Абсолютна похибка $\varepsilon, \%$	Кількість фази $\alpha, \%$						
	20 80	25 75	30 70	35 65	40 50	45 55	50
0,1	71104	83325	93324	101101	106656	109989	111111
0,2	17776	20831	23331	25275	26664	27497	27775
0,3	7904	9263	10374	11239	11856	12222	12350
0,4	4448	5213	5838	6325	6672	6881	6950
0,5	2848	3338	3738	4050	4282	4406	4460
1	711	833	933	1011	1067	1100	1111
2	178	208	233	253	267	275	278
3	79	93	104	112	119	122	124
4	-----	---	58	63	67	60	70

Описані вище методи визначення об'ємної долі фази не підходять, якщо аналіз проводити не по шліфу, а по проекційному зображенню структури, отриманому шляхом просвічування електронним променем тонкого зрізу фольги.

Правильний результат можна отримати лише в деяких випадках. Так об'ємна частка  $\sum V$  ( $мм^3 \cdot мм^{-3}$ ) рівновеликих мікрочастинок може бути визначена по формулі (2.3) при тому, що накладання проєкцій мікрочастинок або не має місця, або воно незначне і їм можна знехтувати.

$$\sum V = \frac{\sum F'}{1 + 3t/2D}, \quad (2.3)$$

Для визначення вірогідної абсолютної похибки можна використовувати дані таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Вірогідна абсолютна похибка визначення  $\varepsilon_{abc}$  при точковому аналізі

Число точок (відрізків) $Z$	Кількість фази $\alpha$ , %													
	1 99	2 98	3 97	4 96	5 95	10 90	15 85	20 80	25 75	30 70	35 65	40 60	45 55	50
10	2,10	2,96	3,60	4,14	4,60	6,33	7,53	8,44	9,13	9,65	10,05	10,31	10,48	10,52
20	1,48	2,08	2,54	2,92	3,25	4,47	5,32	5,96	6,46	6,83	7,11	7,30	7,41	7,45
50	0,94	1,32	1,61	1,85	2,06	2,83	3,36	3,77	4,08	4,32	4,49	4,61	4,69	4,71
100	0,66	0,93	1,14	1,31	1,45	2,00	2,38	2,67	2,89	3,06	3,18	3,27	3,32	3,33
200	0,47	0,66	0,80	0,92	1,03	1,41	1,68	1,88	2,04	2,16	2,25	2,31	2,34	2,36
300	0,38	0,54	0,66	0,75	0,84	1,15	1,37	1,54	1,67	1,76	1,83	1,88	1,91	1,92
400	0,33	0,47	0,57	0,65	0,73	1,00	1,19	1,33	1,44	1,53	1,59	1,63	1,66	1,67
500	0,30	0,42	0,51	0,58	0,65	0,89	1,06	1,19	1,29	1,36	1,42	1,46	1,48	1,49
600	0,27	0,38	0,46	0,53	0,59	0,82	0,97	1,09	1,18	1,25	1,30	1,33	1,35	1,36
700	0,25	0,35	0,43	0,49	0,55	0,76	0,90	1,01	1,09	1,15	1,20	1,23	1,25	1,26
800	0,23	0,33	0,40	0,46	0,51	0,71	0,84	0,94	1,02	1,08	1,12	1,15	1,17	1,18
900	0,22	0,31	0,38	0,44	0,48	0,67	0,79	0,89	0,96	1,02	1,06	1,09	1,11	1,11
1000	0,21	0,30	0,36	0,41	0,46	0,63	0,75	0,84	0,91	0,97	1,00	1,03	1,05	1,05
2000	0,15	0,21	0,25	0,29	0,32	0,45	0,53	0,60	0,65	0,68	0,71	0,73	0,74	0,74
3000	0,12	0,17	0,21	0,24	0,27	0,37	0,43	0,49	0,53	0,56	0,58	0,60	0,61	0,61
4000	0,10	0,15	0,18	0,21	0,23	0,32	0,38	0,42	0,46	0,48	0,50	0,52	0,52	0,53
5000	0,09	0,13	0,16	0,18	0,21	0,28	0,34	0,38	0,41	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47
10000	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,20	0,24	0,27	0,29	0,31	0,32	0,33	0,33	0,33
20000	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,14	0,17	0,19	0,20	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24
30000	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19
40000	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17
50000	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15

У формулу (2.3) входить сумарна площа проекцій рівновеликих кулькоподібних мікрочастинок на одиниці площі проекційного зображення  $\Sigma F'$ ,  $мм^2 \cdot мм^{-2}$ . Цю величину можна визначити: планіметричним, лінійним та точковим методом. Діаметр кулькоподібних мікрочастинок  $D$  дорівнює діаметру їх проекцій, який вимірюють на проекційному зображенні. Визначаючи ці величини і знаючи товщину зрізу  $t$ , визначають об'ємну долю фази мікрочастинок за формулою (2.3).

Вірогідна відносна похибка за формулою (2.3) не перевищує 5 %, якщо витримане співвідношення (2.4):

$$\frac{t \cdot \sum V}{D} < 0.4. \quad (2.4)$$

Якщо, наприклад, товщина зрізу приблизно дорівнює діаметру

мікрочастинок, відносна вірогідна похибка визначення не перевищуватиме 5 %, якщо об'ємна частка фази мікрочастинок не більше 0,04, (тобто 4 % від об'єму).

Відносну похибку  $\varepsilon_{від}$  (%) визначити за формулою (2.5):

$$\varepsilon_{від} = \frac{\varepsilon_{abc}}{\sum V} \cdot 100\% . \quad (2.5)$$

## 2.2 Обладнання та матеріали

2.2.1 Металографічний мікроскоп.

2.2.2 Зразки для аналізу.

2.2.3 Окуляр з сіткою рисок.

## 2.3 Методика проведення роботи

2.3.1 Лабораторна робота виконується кожним студентом окремо.

2.3.2 Кожен студент послідовно і по черзі виконує нижче приведений обсяг робіт.

2.3.3 Ознайомитися з теоретичними відомостями, методикою проведення лабораторної роботи, роботою обладнання. Привести в звіті параметри обладнання, його призначення і можливі помилки, які пов'язані з вимірюваннями.

2.3.4 За допомогою обладнання, що надається, визначити кількість структурних складових для контрольного зразка.

2.3.5 Визначити похибки вимірювань ( $\varepsilon_{abc}$ ,  $\varepsilon_{від}$ ), що були проведені.

2.3.6 Провести дослідження впливу кількості полів зору на величину кількість структурних складових та похибки вимірювань. Кількість полів зору для кожного студента визначає викладач. Отримані дані представити у вигляді таблиць та залежностей кількості структурних складових та похибок вимірювань від кількості полів зору.

2.3.7 Зробити висновки по роботі.

## 2.4 Зміст звіту

В звіті повинні бути приведені наступні дані:

- а) необхідні теоретичні дані;
- б) обладнання та матеріали;
- в) порядок проведення роботи;
- г) результати дослідів;
- д) обробка та аналіз отриманих результатів;
- є) висновки по роботі.

## **2.5 Захист роботи**

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 1.1 (лабораторна робота № 1) та п. 2.1 (лабораторна робота № 2).
2. Вміти виконати перелік робіт по п 2.3.

### **Рекомендована література**

1. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография (стереометрия металлических материалов). – М.: «Металлургия», 1976. –271 с.
2. Конспект лекцій.



твердого тіла характеризують крутизною мікрорельєфу (кут  $\alpha$ , рис. 3.1) – кут нахилу різних ділянок твердої поверхні до горизонтальної площини.

Макроскопічний крайовий кут  $\Theta_{\text{ш}}$  змочування (у подальшому просто крайовий кут) завжди відлічується від дотичної AG (рис. 3.1) в сторону рідини. Вершина крайового кута знаходиться в точці А.

Розрізняють рівноважні та не рівноважні кути змочування. Для кожної системи при даних зовнішніх умовах рівноважний кут змочування має одне визначене значення (стан термодинамічної рівноваги кута). Для досягнення стану термодинамічної рівноваги кута після нанесення краплі на тверду поверхню потрібен деякий час.

В залежності від значень рівноважного крайового кута можуть бути три основних випадки:

а) незмочування (погане змочування) – крайовий кут тупий ( $180^\circ > \Theta_{\text{ш}} > 90^\circ$ ), наприклад вода на парафіні);

б) змочування (обмежене змочування) – крайовий кут становить  $90^\circ > \Theta_{\text{ш}} > 0^\circ$  (наприклад, вода на металі, що покритий шаром оксиду), у загальному випадку, чим краще очищена поверхня металу, при інших рівних умовах, тим краще змочування і менше крайовий кут змочування;

в) повне змочування – крайовий кут не встановлюється, тобто вода розтікається по поверхні, в тонку плівку (ртуть на поверхні свинцю, яка очищена від шару оксиду).

## 3.2 Обладнання та матеріали

3.2.1 Дистильована вода.

3.2.2 Шприц-дозатор.

3.2.3 Зразки з ситалу СО-115М та кварцового скла КВ-1 з мікрошорсткістю поверхні  $R_a = 0.02$  мкм.

3.2.4 Зразки з ситалу та алюмінію з різною величиною мікрошорсткості поверхні.

3.2.5 Зразки з ситалу СО-115М з мікрошорсткістю поверхні  $R_a = 0.02$  мкм,  $R_a = 0.04$  мкм,  $R_a = 0.06$  мкм та  $R_a = 0.08$  мкм.

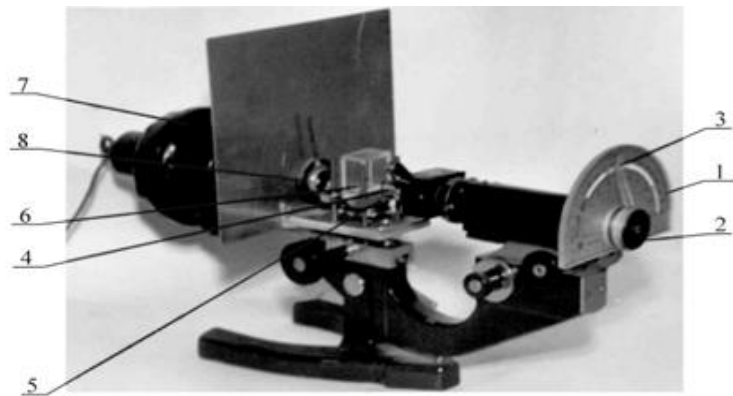
3.2.6 Забруднювачі поверхні (технічний вазелін, машинне масло тощо).

3.2.7 Засоби для очищення поверхні, що забруднена (технічний ацетон, спирт, бензин тощо).

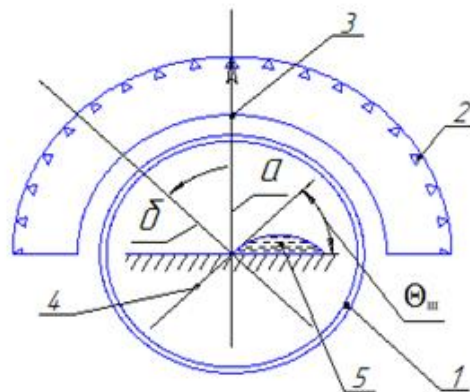
3.2.8 Бязь.

3.2.9 Робочий стіл з витяжною вентиляцією.

3.2.10 Установка для вимірювання крайового кута змочування, яка зображена на рисунку 3.2. Спеціалізована установка виготовлена на базі мікроскопа МП-5 і дозволяє визначати крайовий кут змочування по методу дотичної, шляхом його безпосереднього вимірювання через окуляр мікроскопа.



а



б

а: 1 – транспортер; 2 – окуляр; 3 – стрілка на окулярі; 4 – об'єктив;  
5 – предметний столик; 6 – захисний ковпачок; 7 – освітлювач;  
8 – діафрагма;

б: 1 – окуляр; 2 – транспортер; 3 – стрілка на окулярі; 4 – дві  
взаємоперпендикулярні риси (дотичні) на окулярі  
(а – вихідне положення; б – положення при вимірюванні кута  
змочування); 5 – крапля води

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд установки (а) та принципова схема (б) вимірювання крайового кута змочування

### 3.3 Методика проведення роботи

3.3.1 Лабораторна робота виконується ланками по 3 – 4 студента.

3.3.2 Кожна ланка послідовно і по черзі виконує нижче приведений обсяг робіт.

3.3.3 Вивчити роботу та призначення робочих органів установки.

3.3.4 Забруднити поверхню зразків (протерти бяззю, яка забруднена, наприклад, машинним маслом).



3.3.5 Поверхню зразків обробити миючими засобами (протерти кожен зразок три рази бяззю, що змочена, відповідним миючим засобом та потім сухою бяззю).

3.3.6 Нанести за допомогою шприца-дозатора на поверхню зразка, що досліджується, краплю дистильованої води. Розмір кожної з крапель повинен бути однаковий. Провести для кожного зразка замір крайового кута змочування. Крайовий кут змочування для кожної краплі вимірювати з двох сторін її опорної частини через 110 с (для одного кута) та 120 с (для другого) з моменту нанесення краплі. Заміри проводити по три рази для кожного зразка та оформити у вигляді таблиці (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Залежність кута змочування від виду миючого засобу для зразка з (назва речовини, з якої зроблено зразок)

Тип миючого засобу	Кут змочування крапель, град						
	перша		друга		третя		$\Theta_{Ш_{cp}}$
	$\Theta_{Ш_{11}}$	$\Theta_{Ш_{12}}$	$\Theta_{Ш_{21}}$	$\Theta_{Ш_{22}}$	$\Theta_{Ш_{31}}$	$\Theta_{Ш_{32}}$	
1. Зразок забруднений – (вказати чим)							
2. Зразок очищений – (вказати чим)							
3. Зразок очищений – (вказати чим)							
....							

3.3.7 Відповідно до методики виконання пункту 3.3.6 дослідити вплив величини мікрошорсткості поверхні зразка на величину крайового кута змочування (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Залежність кута змочування від величини мікрошорсткості поверхні для зразка з (назва матеріалу з якого зроблено зразок та спосіб очищення поверхні)

Величина мікрошорсткості поверхні $R_a$ , мкм	Кут змочування крапель, град						
	перший		другий		третій		$\Theta_{Ш_{cp}}$
	$\Theta_{Ш_{11}}$	$\Theta_{Ш_{12}}$	$\Theta_{Ш_{21}}$	$\Theta_{Ш_{22}}$	$\Theta_{Ш_{31}}$	$\Theta_{Ш_{32}}$	
1.							
2.							
3.							
...							

3.3.8 Відповідно до методики виконання пункту 3.3.6 дослідити вплив властивостей матеріалу на величину крайового кута змочування. Результати

досліджень занести до таблиці (табл. 3.3) та представити у вигляді графіків (гістограм).

Таблиця 3.3 – Залежність кута змочування від властивостей матеріалу зразків (вказати  $R_a$ , мкм та спосіб очищення поверхні)

Матеріал зразка	Кут змочування крапель, град						
	перший		другий		третій		$\Theta_{Ш_{cp}}$
	$\Theta_{Ш_{11}}$	$\Theta_{Ш_{12}}$	$\Theta_{Ш_{21}}$	$\Theta_{Ш_{22}}$	$\Theta_{Ш_{31}}$	$\Theta_{Ш_{32}}$	
1.							
2.							
3.							
...							

3.3.9 Зробити висновки по роботі.

### 3.4 Зміст звіту

В звіті повинні бути приведені наступні дані:

- а) короткі теоретичні дані;
- б) обладнання та матеріали;
- в) методика проведення роботи;
- г) результати дослідів;
- д) обробка та аналіз отриманих результатів;
- є) висновки по роботі.

### 3.5 Захист роботи

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 3.1 та теми “Дослідження покриттів”.
2. Вміти виконати перелік робіт по п. 3.3.

### Рекомендована література

1. Быховский А.И. Растекание. – К.: Наук. Думка, 1983. –192 с.
2. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: «Химия», 1976. –323 с.
3. Конспект лекцій.



$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |H_{i\max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i\min}|}{5}, \quad (4.2)$$

або

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |h_{i\max}| - \sum_{i=1}^5 |h_{i\min}|}{5}; \quad (4.3)$$

3)  $R_{\max}$  – найбільша висота шорсткості профілю.

Одним з найефективніших засобів визначення шорсткості поверхонь – є використання профілографів-профілометрів, які відрізняються конструкцією та методом відображення параметрів, що вимірюються. В загальному випадку частіше усього використовується два способи реєстрації мікروشорсткості:

1) цифрове відображення інформації на електронному табло у вигляді величини параметру, що вимірюється, наприклад,  $R_a$ ;

2) шляхом запису профілограми у прямокутній системі координат (використовується для визначення  $R_z$ ).

## 4.2 Обладнання та матеріали

4.2.1 Зразки матеріалів з різною величиною мікрошорсткості.

4.2.2 Профілограф-профілометр типу А1 моделі 252.

### Призначення профілографа-профілометра типу А1 моделі 252.

Профілограф-профілометр типу А1 моделі 252 є високочутливим приладом і призначений для вимірювання в лабораторних умовах шорсткості та хвилястості поверхонь твердих тіл, переріз яких в площині вимірювання є прямою лінією.

### Технічні дані профілографа-профілометра типу А1 моделі 252:

1) параметри шорсткості поверхні, що відображаються на електронному табло:

$R_a$ ;

$H_{\max}$  – висота найбільшого виступу профілю, яка відраховується відносно базової лінії  $m-m$ ;

$H_{\min}$  – глибина найбільшої западини профілю, яка відраховується відносно базової лінії  $m-m$ ;

$t_p$  – відносна опорна довжину профілю;

$n$  – кількість кроків нерівностей в межах довжини траси оцупування при вимірювання (по базовій лінії);

2) вид приладу, що реєструє, (записує) – прилад з електротермічним записом у прямокутній системі координат;

**Побудова та робота приладу.** Прилад складається з окремих блоків (рис. 4.2): стійки 1; мотопривода 2; датчиків 3, 4; предметного стола 5 (з Т-подібними пазами та призмою 11), що дозволяє переміщувати деталі, що вимірюються, в

двох взаємноперпендикулярних напрямках; блоку живлення 6 з кнопкою 12, що включає прилад; вимірювального 7 і рахунково-вирішувального 9 блоків; приладу, що записує 10.

Для встановлення датчика на поверхню, що вимірюється, мотопривод, за допомогою ходового гвинта, переміщується по напрямним стійкам.

Підсилення і перетворення електричного сигналу з датчика, а також управління роботою приладу відбувається за допомогою блоку живлення та вимірювального блоку, які зв'язані з мотоприводом та рахунково-вирішувальним блоком з'єднувальними кабелями 8.

Рахунково-вирішувальний блок призначений для обробки електричних сигналів і видачі результатів вимірювання на цифровий відліковий пристрій та прилад, що записує. Прилад, що записує, призначений для запису на діаграмну стрічку результатів вимірювання шорсткості поверхні, що досліджується.

Робота профілографа-профілометра типу А1 моделі 252 заснована на принципі ошупування нерівностей поверхні, що досліджується, алмазним щупом датчика і перетворення коливань щупа, що при цьому виникають, в зміну напруги, яка пропорційна виникаючим коливанням (рис. 4.3). Магнітна система датчика складається з зведеного Ш-подібного осердя 3 з двома котушками 2 і якоря 5, який гойдається на опорі 6. Котушки датчика утворюють міст, котрий живиться від генератора 4, який має частоту 10 кГц. При русі датчика алмазна голка 1 ошупує нерівності поверхні та призводить до коливань якоря 5. Коливання якоря змінює повітряні зазори між якорем та сердечником, що веде до зміни індуктивності котушок датчика, котрі в свою чергу змінюють напругу на виході моста. Зміна напруги відбувається пропорційно величинам мікрошорсткості поверхні, що досліджується. Переміщення датчика по поверхні, що досліджується, відбувається за допомогою мотопривода 7, який з'єднується з блоком живлення 9. Сигнал з датчика потрапляє на вхідний підсилювач блоку вимірювального і обробляється в рахунково-вирішувальному блоці 8.

Профілограф-профілометр типу А1 моделі 252 можна використовувати для роботи в якості:

- а) профілографа;
- б) профілографа при запису профіля, що вимірюється, з використанням фільтрів відсікання кроку;
- в) профілометра.

При роботі приладу в якості профілографа перемикач роду роботи встановлюється в положення „ЗП” роду роботи (поз. 15, рис. 4.2). Перемикач вертикального збільшення (поз. 14, рис. 4.2) можна встановлювати в одне з 9 положень від 200 до 100000 *крат*. Кнопка „Пуск” вмикає електродвигун переміщення датчика і починається вимірювання.

Сигнал з датчика надходить на вхідний підсилювач до виходу якого підключено дільник, що визначає вертикальне збільшення.

**Порядок роботи при роботі приладу в якості профілографа.**  
Послідовність роботи приладу:

- 1) включити прилад кнопкою 12 (рис. 4.2) блоку живлення;
- 2) установити деталь для якої вимірюється шорсткість поверхні на предметний столик 5;
- 3) установити ручку перемикача 15 (Рід роботи”) положення „ЗП”;
- 4) установити ручкою 16 мотопривода необхідну швидкість руху датчика;

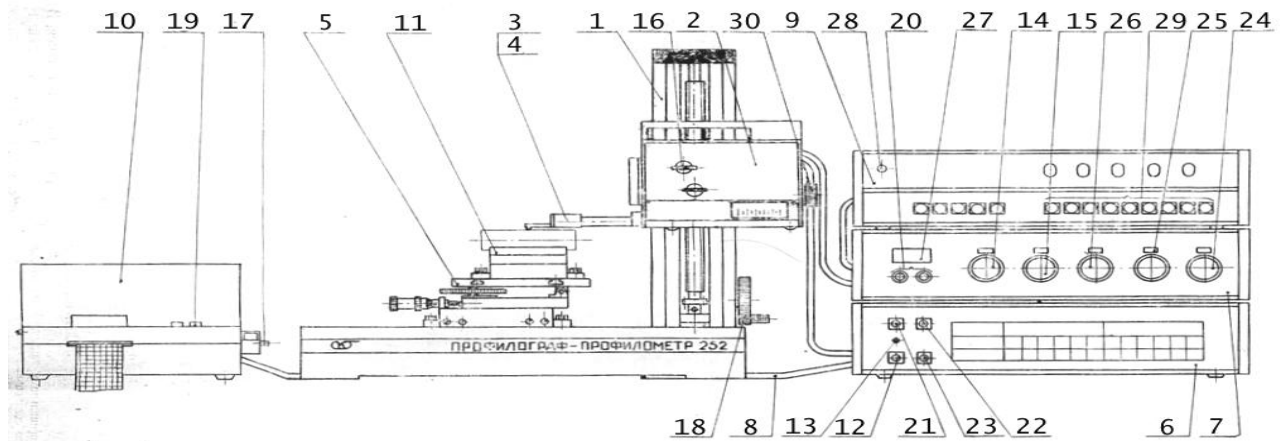


Рисунок 4.2 - Профілограф-профілометр типу А1 моделі 252

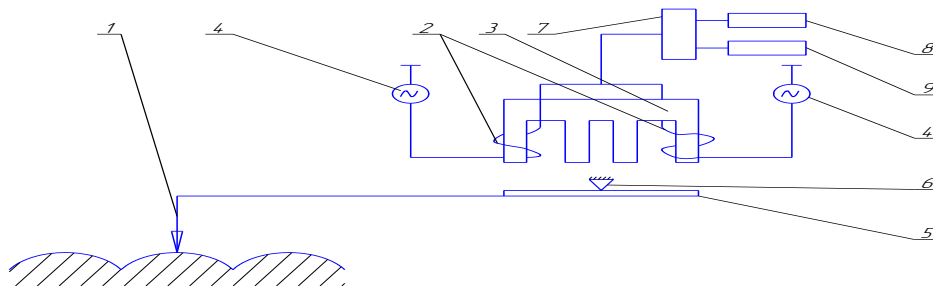


Рисунок 4.3 – Принципова схема профілографа-профілометра типу А1 моделі 252

- 5) установити ручкою 17 швидкість руху діаграмної стрічки у відповідності з потрібним горизонтальним збільшенням.
- 6) установити ручку перемикача 14 „Вертикальне збільшення” в положення, яке відповідає вертикальному збільшенню 200;
- 7) установити плавно датчик на поверхню, що вимірюється, шляхом повороту маховика 18 поки перо пристрою, що записує, не буде в полі запису діаграмного попелу, після чого застопорити маховиком каретку з мотоприводом 2;
- 8) збільшити, шляхом повороту ручки 14, вертикальне збільшення приладу до необхідного;
- 9) натиснути кнопку 19 пристрою, що записує;
- 10) натиснути кнопку 21 (зеленого кольору) блоку живлення для запису шорсткості поверхні, що вимірюється;
- 11) для запису з фільтрами перед початком вимірювання установити ручкою перемикача 24 потрібну відсічку кроку;

12) кнопкою 22 (красного кольору) можна зупинити рух датчика у потрібному місці;

13) натисканням кнопки 23 „R” (реверс) датчик повернеться в початкове положення;

15) натиском кнопки 21 можна продовжити вимірювання з того місця, де було зупинено датчик.

### **Порядок роботи при роботі приладу в якості профілометра.**

Послідовність роботи приладу:

1) включити прилад кнопкою 12 (рис. 4.2) блоку живлення;

2) установити деталь для якої вимірюється шорсткість поверхні на предметний столик 5;

3) установити ручку перемикача 15 („Рід роботи”) положення „ПП”;

4) установити ручкою 16 мотоприводу необхідну швидкість руху датчика 60 мм/хв;

5) установити ручкою перемикача 25 необхідну довжину траси ошупування;

б) установити ручкою 26 потрібну межу вимірювання;

7) установити ручкою перемикача 24 потрібну відсічку кроку;

8) установити плавно датчик на поверхню, що вимірюється, шляхом повороту маховика 18 поки стрілка індикатора робочої зони 27 не переміститься в середину шкали;

9) вимірювання параметру  $R_a$  :

а) натиснути  $R_a$  на рахунково-вирішувальному блоку 9;

б) натиснути кнопку 21 (зеленого кольору) блоку живлення для запису шорсткості поверхні, що вимірюється, та після зупинки датчика зняти показання  $R_a$  на цифровому табло рахунково-вирішувальному блоку;

## **4.3 Методика проведення роботи**

4.3.1 Ознайомитися з роботою приладу (профілографа-профілометра типу А1 моделі 252).

4.3.2 Отримати зразки матеріалів, які попередньо пройшли різні рівні механічної обробки (шліфування, полірування, суперфінішування).

4.3.3 Провести вимірювання шорсткості поверхні отриманих зразків на профілографі-профілометрі в режимах:

а) профілографа;

б) профілометра для параметру  $R_a$  .

4.3.4 Визначити по приладу параметр  $R_a$  .

4.3.5 За допомогою профілограми визначити величини  $R_z$  поверхні, що досліджувалася.

4.3.6 Отримані дані представити у вигляді рисунків (профілограм), розрахунків величини  $R_z$  .

4.3.7 Зробити висновки по роботі.

#### **4.4 Зміст звіту**

В звіті повинні бути приведені наступні дані:

- а) короткі теоретичні дані;
- б) обладнання та матеріали (технічні характеристики та принцип роботи профілографа-профілометра в звіті на приводити);
- в) методика проведення роботи;
- г) результати дослідів;
- д) обробка та аналіз отриманих результатів (копія профілограми та необхідні розрахунки);
- є) висновки по роботі.

#### **4.5 Захист роботи**

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 4.1 і п. 4.2.
2. Вміти виконати перелік робіт по п 4.3.

#### **Рекомендована література**

1. Експериментальні методи у зварюванні: навч. посіб. / Л.Я. Березін, Т.Р. Ганєєв. – Чернігів: ЧНТУ, 2015. – 224 с.
2. Конспект лекцій.



## 5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ НА РОЗТЯГ І ТВЕРДІСТЬ

**Мета роботи** – отримання навичок проведення механічних випробувань матеріалів на розтяг і твердість.

#### 5.1 Теоретичні відомості

Для оцінки механічних властивостей матеріалів проводять механічні випробування.

Властивості матеріалів поділяються на багато груп, але з точки зору матеріалознавства нас буде цікавити дві групи:

- фізичні властивості, що характеризують зміну агрегатного стану тіла;
- механічні властивості.

**Фізичні властивості**, що характеризують зміну агрегатного стану тіла:

- температура плавлення  $T_{пл}$  – температура переходу твердого стану речовини в рідкий при постійному тиску;
- температура кристалізації  $T_{кр}$  – температура переходу з рідкого стану речовини в твердий при постійному тиску;
- температура кипіння  $T_{кп}$  – температура рівноважного переходу рідини в газоподібний стан.

**Механічні властивості.** Основними механічними характеристиками матеріалу є: міцність, пружність, пластичність, в'язкість (внутрішнє тертя), твердість тощо.

В залежності від відповідних факторів механічні властивості поділяють на групи:

- за характером дії навантаження;
- за тривалістю прикладання навантаження;
- за температурою, при якій проводяться випробування.

В залежності від **характеру дії** навантаження випробування можуть бути:

- статичними;
- динамічними;
- циклічними.

До статичних випробувань відносять випробування на: розтяг, стиск і твердість. До динамічних випробувань – випробування на удар. До циклічних – різного роду випробування матеріалу на втомлюваність.

За **тривалістю прикладання навантаження** випробування ділять на короткочасні (до декілька хвилин) та тривалі (в основному для визначення механічних характеристик об'єктів, які будуть працювати в особливо складних умовах протягом тривалого періоду часу).

За температурою, при якій проводяться випробування, останні поділяються на: низькотемпературні (нижче  $0^{\circ}\text{C}$ ), при нормальних температурах ( $20^{\circ}\text{C}$ ), високотемпературні (взагалі вище  $25^{\circ}\text{C}$ , які можуть досягати сотень, тисяч градусів  $^{\circ}\text{C}$  в залежності від конкретних умов).

**Основні механічні характеристики металів:**

- границя міцності  $\sigma_v$ ,  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ );
- границя пропорційності  $\sigma_{nu}$ ,  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ )
- границя плинності  $\sigma_t$ ,  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ );
- умовна границя плинності  $\sigma_{02}$ ,  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ )
- границю пружності  $\sigma_{np}$ ,  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ ):
- відносне видовження  $\delta$ , %;
- відносне звуження  $\psi$ , %;
- модуль пружності  $E$ ,  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ );
- коефіцієнт Пуассона  $\mu$ ,  $\mu \neq f$  ( $\sim$ ),  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ );
- модуль зсуву  $G$ ,  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ );
- об'ємний модуль  $K$ ,  $\text{МН/м}^2$  ( $\text{кг/мм}^2$ ).

Всі вказані характеристики суттєво залежать від температури (зменшуються), окрім коефіцієнта Пуассона.

Основними видами досліджень для виявлення механічних властивостей металів є:

- випробування на розтяг;
- ударні випробування – для визначення в'язкості матеріалу та виявлення стійкості матеріалу до динамічних (ударних) навантажень;
- вимірювання твердості;
- випробування на втомлюваність (визначення довговічності матеріалу).

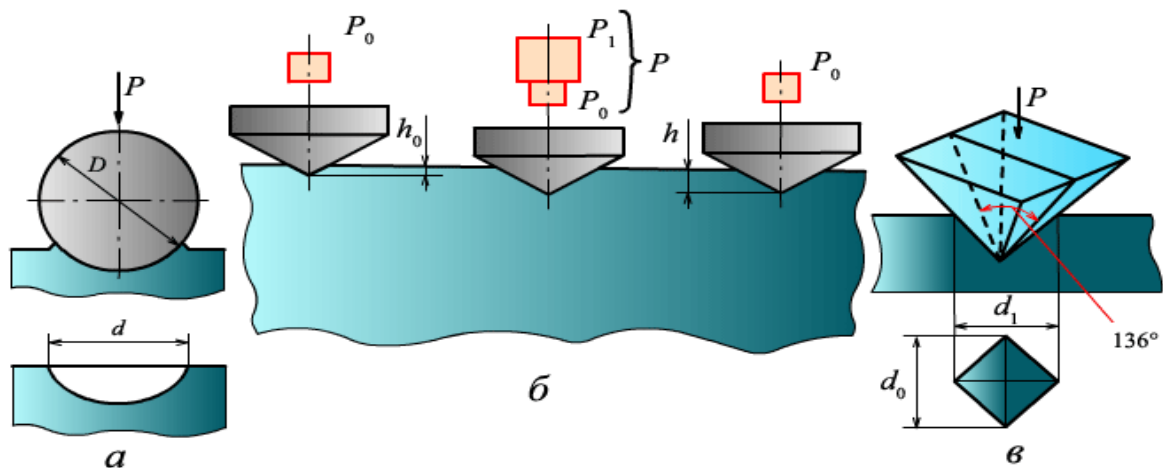
Для сталей та інших конструкційних матеріалів випробування на розтяг є основним і проводяться частіше.

Для визначення механічних властивостей і структури в матеріалознавстві часто використовується вимірювання твердості і мікротвердості, яка характеризує опір матеріалу пружному та пластичному деформуванню. Для визначення твердості застосовують методи вимірювання твердості (рис. 5.1) по Роквеллу – ГОСТ 9013-83, Віккерсу – ГОСТ 2999-83, Брінеллю – ГОСТ 9012-83 та ударного відбитку.

**Вимірювання твердості за Брінеллем.** Випробування за Брінеллем (ГОСТ 9012-83) проводяться шляхом вдавлювання в метал сталевої кульки. У результаті на поверхні металу утворюється сферичний відбиток (рис. 5.1, а). Твердість за Брінеллем визначається за формулою:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} 10^{-6}, \text{ МПа} \quad (5.1)$$

де  $P$  – навантаження на метал,  $H$ ;  $D$  – діаметр кульки,  $m$ ;  $d$  – діаметр відбитка,  $m$ .



$a$  – за Брінеллем;  $б$  – за Роквеллом;  $в$  – за Віккерсом

Рисунок 5.1 – Схема визначення твердості

Чим твердіший метал, тим менша площа відбитка. На практиці після отримання відбитку, замірюють його діаметр за допомогою спеціального приладу і по спеціальним таблицям визначають величину твердості. Якщо, матеріал, що досліджується невідомий, то сама величина твердості може орієнтовно вказати, який це матеріал, бо кожен з них має свою твердість.

Діаметр кульки і навантаження встановлюють залежно від металу, який досліджують, його твердості та товщини. При випробуванні сталі та чавуну вибирають  $D = 10$  мм і  $P = 30$  кН (3000 кгс), при випробуванні міді та її сплавів  $D = 10$  мм і  $P = 10$  кН (1000 кгс), а при випробуванні дуже м'яких металів (Al, бабітів та ін.)  $D = 10$  мм і  $P = 2,5$  кН (250 кгс). При випробуванні зразків товщиною менше 6 мм вибирають кульки з меншим діаметром – 5 і 2,5 мм.

Метод Брінелля не рекомендовано застосовувати для металів твердістю понад  $450$  кг/мм<sup>2</sup> (4500 МПа), оскільки кулька може деформуватися, що спотворить результати випробувань. Додатково дивись лабораторну роботу № 8.

**Вимірювання твердості за Роквеллом (ГОСТ 9013-83).** Здійснюють шляхом вдавлювання в метал алмазного конуса ( $\alpha = 120^\circ$ ) або сталеві кульки ( $D = 1,588$  мм або 1/16", рис. 5.1, б). Прилад Роквелла має три шкали – В, С і А. Алмазний конус застосовують для випробування твердих матеріалів (шкали С і А), а кульку – для випробування м'яких матеріалів (шкала В). Конус і кульку вдавлюють двома послідовними навантаженнями: попереднє  $P_0$  і загальне  $P$ :

$$P = P_0 + P_1, \quad (5.2)$$

де  $P_1$  – основне навантаження.

Попереднє навантаження  $P_0 = 100 \text{ Н}$  (10 кгс). Основне навантаження складає 900 Н (90 кгс) для шкали В; 1400 Н (140 кгс) для шкали С і 500 Н (50 кгс) для шкали А.

Твердість за Роквеллом вимірюють в умовних одиницях. За одиницю твердості приймають величину, що відповідає осьовому переміщенню наконечника на відстань 0,002 мм. Твердість за Роквеллом обчислюють у такий спосіб:

$$HR = 100 - e \text{ (шкали А і С); } HR = 130 - e \text{ (шкала В).}$$

Величину  $e$  визначають за формулою:

$$e = \frac{h - h_0}{0,002}, \quad (5.3)$$

де  $h$  – глибина проникнення в метал наконечника під дією загального навантаження  $P$  ( $P = P_0 + P_1$ );  $h_0$  – глибина проникнення наконечника під дією попереднього навантаження  $P_0$ .

Залежно від шкали твердість за Роквеллом позначають  $HRB$ ,  $HRC$ ,  $HRA$ .

**Вимірювання твердості за Віккерсом** (ГОСТ 2999-83). В основу методу покладено вдавлювання в поверхню (шліфовану чи навіть поліровану), що підлягає випробуванню, чотиригранної алмазної піраміди ( $\alpha = 136^\circ$ ) (рис. 5.1, в). Метод використовують для визначення твердості деталей малої товщини і тонких поверхневих шарів, які мають високу твердість.

Твердість за Віккерсом:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} 10^{-6}, \quad (5.4)$$

де  $P$  – навантаження на піраміду, Н;

$d$  – середнє арифметичне двох діагоналей відбитка, виміряних після зняття навантаження, м.

Число твердості за Віккерсом визначають за спеціальними таблицями по діагоналі відбитка  $d$ . При вимірюванні твердості застосовують навантаження від 10 до 500 Н.

**Метод мікротвердості** застосовують для визначення твердості окремих фаз та структурних складових, окремих зерен та тонкого приповерхневого шару.

Випробування проводять у відповідності з вимогами ГОСТ 9450-76.

При визначенні мікротвердості в зразок, що досліджується, під дією навантаження  $P$  вдавлюється алмазний наконечник (індентор), який має форму піраміди. При вимірюванні величина навантаження може бути в межах 0.05 – 5 Н (0.005 – 0.5 кгс). Після зняття навантаження на поверхні залишається відбиток у вигляді піраміди з квадратною основою (рис. 5.2).

Для визначення твердості  $H$  (кгс·мм<sup>-2</sup>) навантаження  $P$  ділять на умовну площу бокової поверхні відбитку (5.5):

$$H = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1.8544 \frac{P}{d^2}, \quad (5.5)$$

де  $P$  – навантаження на піраміду;  
 $\alpha$  – кут між боковими гранями піраміди, який дорівнює  $136^\circ$ ;  
 $d$  – діагональ відбитку.

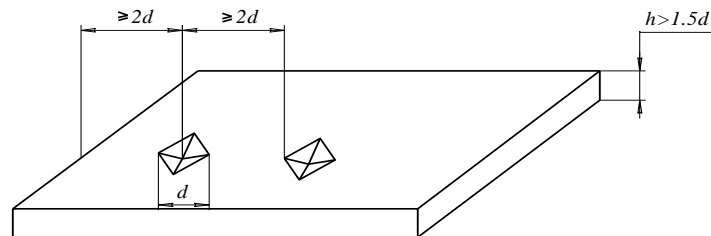


Рисунок 5.2 – Схема розташування відбитка при вимірюванні мікротвердості

Щоб не проводити розрахунки використовують таблиці (доповнення до ГОСТ 9450-76), в яких наведені значення мікротвердості в залежності від навантаження, що прикладається та довжини діагоналі відбитку (чим більша довжина діагоналі, тим менша твердість металу). Довжина діагоналі відбитка звичайно становить 3 – 300 мкм, а глибина 0.5 – 40 мкм. Число мікротвердості записується так:  $H$  з позначенням величини навантаження та отриманого результату (наприклад,  $HV0,1-180$ , це означає, що визначення проводилося при навантаженні 0,1 кгс (0,98 Н) чотиригранною пірамідою з квадратною основою на протязі 15 с і мікротвердість металу складає  $180 \text{ кгс} \cdot \text{мм}^{-2}$ ).

Мікротвердість визначають на відполірованій поверхні. При виготовленні зразка для досліджень, потрібно щоб не відбувся наклеп чи нагрів поверхні, що приведе до викривлення величини мікротвердості.

Навантаження вибирається відповідно до величини площі ділянки, на якій будуть вимірювати мікротвердість, та товщини зразка (шару). Мінімальна товщина зразка повинна бути більше діагоналі відбитку в 1.5 рази. Відстань від центру відбитка до краю зразка чи краю сусіднього відбитку повинна бути не менше  $2d$ .

Вимірювання мікротвердості проводять на спеціальних приладах (ПМТ-3, DUN-211, DUN-211S, HNV-G21S, HNV-G20S та інші), в яких зразок, що досліджується, розміщується на спеціальному столі. Вимірювання потрібно проводити з особливою старанністю, так як коливання приладу, поштовхи, різке навантаження, невірна підготовка зразка, тріщини та сколи алмазної піраміди приводять до викривлення форми відбитку, а отже і результатів вимірювань. Випробуванням на мікротвердість підлягає широке коло матеріалів: від дуже м'яких (твердість менше  $1 \text{ кгс} \cdot \text{мм}^{-2}$ ) до дуже твердих типу алмазу (твердість більш  $10000 \text{ кгс} \cdot \text{мм}^{-2}$ ).

Випробування на мікротвердість широко використовується при фізико-хімічному аналізі (визначення твердості окремих фаз та структурних складових, окремих зерен та тонкого приповерхневого шару тощо).

**Випробування на розтяг.** Випробування проводять для чорних та кольорових металів і виробів з них відповідно до ГОСТ 1497-84 і дозволяють визначити: границю пропорційності, межу пружності, межу текучості, тимчасовий опір (межу міцності), істинний опір розриву, відносне подовження після розриву, відносне звуження після розриву). В багатьох випадках обмежуються визначенням межі міцності (контрольні випробування проводять на стандартних зразках, форма та розміри яких наведені в ГОСТ 1497-84). Випробування проводять на розривних і універсальних машинах, які повинні задовольняти ГОСТ 28840. Також використовуються мікрометри, штангельциркулі, тензometri для визначення величини деформації зразка. Для визначення межі міцності перед випробуванням спочатку визначають початкову площу поперечного перерізу зразка  $F_0$ . Визначення геометричних розмірів проводять з похибкою не більше  $\pm 0.5\%$ . Вимірювання розмірів зразка проводять не менш як в трьох місцях: в середній частині і на границях робочої довжини. За початкову площу поперечного перерізу зразка в його робочій частині  $F_0$  приймають найменше з отриманих значень. Округлення отриманих значень проводять відповідно до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Округлення значень  $F_0$  (мм<sup>2</sup>)

$F_0$	Округлення до
до 10.00 включно	0,01
10.00 – 20.00	0,05
20.0 – 100.0	0.1
100.0 – 200.0	0.5>
>200	1

Для визначення інших механічних характеристик вимірюються і інші параметри зразка. Зразки для випробувань можуть бути циліндричні та плоскі. На рисунку 5.3 показані типи плоских зразків, які легше виготовляти.

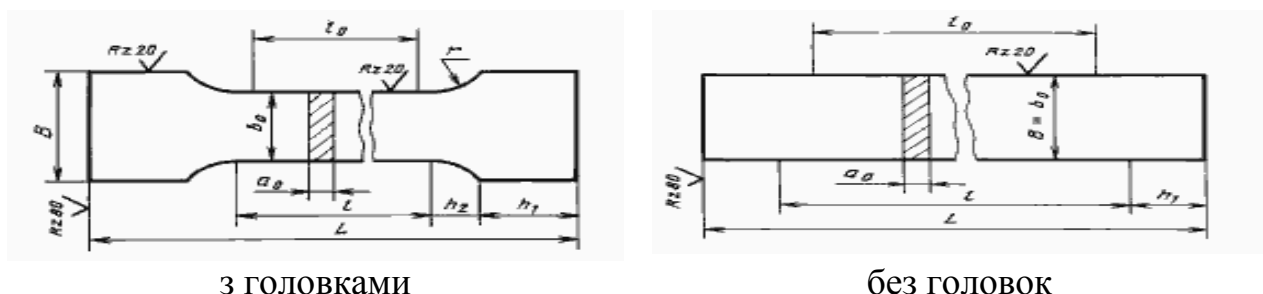


Рисунок 5.3 – Плоскі зразки для випробувань на розтяг

Розміри зразків визначаються за таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 – Розміри плоских зразків

Номер зразка	$a_0$	$b_0$	$l_0=5,65\sqrt{F_0}$	$l_0=11,3\sqrt{F_0}$	$l$	$B$	$h_1$	$L$
1	25	30	155	310		40	100	
2	24	30	155	310		40	100	
3	23	30	150	300		40	90	
4	22	30	145	290		40	90	
5	21	30	140	280	$l_0+(1,5...2,5)\sqrt{F_0}$	40	80	$l+2(h_1+h_2)$
6	20	30	140	270		40	80	
7	19	30	135	270		40	80	
8	18	30	130	260		40	80	

Межа міцності в даному випадку буде визначатися:

$$\sigma = \frac{P}{F_0}, \quad (5.6)$$

де  $P$  – сила розриву при розтягненні зразка,  $H$  (кгс).

## 5.2 Обладнання та матеріали

5.2.1 Розривна машина.

5.2.2 Твердомір.

5.2.3 Зразки для випробувань.

5.2.4 Мікрометр, штангельциркуль.

## 5.3 Методика проведення роботи

1. Ознайомитися з будовою і принципом роботи обладнання.
2. Зробити таблицю (таблиці) для занесення в них результатів випробувань.
3. Зробити випробування на вимірювання твердості за методом Брінелля.
4. Зробити випробування на розтяг.
5. Зробити необхідні визначення твердості і розрахунки міцності на розтяг. Результати оформити у вигляді таблиці, графіків (гістограм).

### Продовження таблиці 5.2

9	17	30	125	250		40	80	
10	16	30	125	250		40	80	
11	15	30	120	240		40	70	
12	14	30	115	230		40	70	
13	13	30	110	220		40	70	
14	12	30	105	210		40	60	
15	11	30	105	210		40	60	
16	10	30	100	200		40	60	
17	9	30	90	180		40	50	
18	8	30	85	170		40	50	
19	7	20	70	140		40	50	
20	6	20	65	130		40	50	
21	5	20	60	120		40	50	
22	4	20	50	100		40	50	
23	3	20	45	90		30	40	

### 5.4 Зміст звіту

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Обладнання та матеріали.
3. Методика проведення роботи.
4. Результати випробувань на твердість і на розтяг (оформити у вигляді таблиці, де вказати номер зразків, матеріал зразків, умови їх отримання). При наявності не менш трьох зразків по кожному виду випробувань побудувати графіки (гістограми).

### 5.5 Захист роботи

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 5.1.
2. Вміти виконати перелік робіт по п. 5.3.

### Рекомендована література

1. ГОСТ 1497-84 – Металлы. Методы испытаний на растяжение.
2. ГОСТ 9012-59 – Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.



## 6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ

**Мета роботи** – отримання навичок проведення механічних випробувань матеріалів на ударну в'язкість.

#### 6.1 Теоретичні відомості

**Випробовування на ударну в'язкість.** Ударна в'язкість характеризує здатність металу чинити опір динамічному (ударному) навантаженню. Для випробовування на удар виготовляють спеціальні зразки з надрізом, які потім руйнують на маятниковому копрі (рис. 6.1). Зразок з надрізом встановлюють на опори маятникового копра. Маятник 1 (рис. 6.1) піднімають на висоту  $h_1$ . Потім його вільно опускають і наноситься удар по зразку в місці протилежному надрізу. В результаті цього зразок руйнується, а маятник після руйнування ще піднімається на висоту  $h_2$ . Отже, на зруйнування зразка витрачається робота  $K$ .

Загальний запас енергії маятника витрачатиметься на руйнування зразка і на підйом маятника після його руйнування. Тому якщо із загального запасу енергії маятника вилучити частину, яка припадає на підйом (зліт) після руйнування зразка, отримаємо роботу руйнування зразка:

$$K = P(h_1 - h_2) \quad (6.1)$$

або

$$K = Pl(\cos \beta - \cos \alpha), \text{ Дж (кг}\cdot\text{м)}, \quad (6.2)$$

де  $P$  – маса маятника,  $H$  (кг);

$h_1$  – висота підйому центра маси маятника до удару, м;

$h_2$  – висота зльоту маятника після удару, м;

$l$  – довжина маятника, м;  $\alpha$ ,

$\beta$  – кути підйому маятника відповідно до руйнування зразка і після нього.

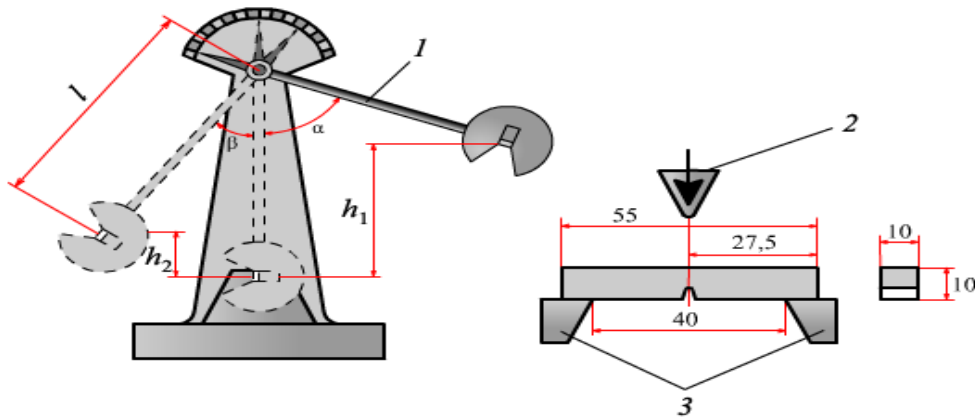
Ударну в'язкість, тобто роботу, витрачену на руйнування зразка і віднесену до поперечного перерізу зразка у місці надрізу, визначають за формулою:

$$K_C = \frac{K}{F}, \text{ МДж/м}^2 \text{ (кг}\cdot\text{м/см}^2\text{)}, \quad (6.3)$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу в місці надрізу зразка,  $m^2$  ( $cm^2$ ).

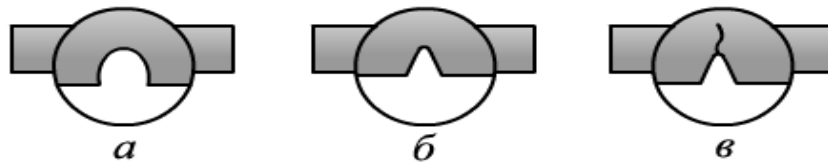
Для визначення  $KC$  користуються спеціальними таблицями, в яких для кожного кута  $\beta$  зазначена величина роботи удару  $K$ . При цьому  $F = 0,8 \cdot 10^{-4} m^2$ .

Для позначення ударної в'язкості додають і третю букву, що вказує на вид надрізу на зразку:  $U$ ,  $V$ ,  $T$ . Запис  $KCU$  означає ударну в'язкість зразка з  $U$ -подібним надрізом,  $KCV$  – з  $V$ -подібним надрізом, а  $KCT$  – із тріщиною (рис. 6.2).



1 – маятник; 2 – ніж маятника; 3 – опори

Рисунок 6.1 – Випробовування на ударну в'язкість



$a$  –  $U$ -подібний надріз ( $KCU$ );  $b$  –  $V$ -подібний надріз ( $KCV$ );  
 $v$  – надріз із тріщиною ( $KCT$ )

Рисунок 6.2 – Види надрізів на зразках для випробування на ударну в'язкість

Чим більша в'язкість металу, тим більше роботи витратить маятник на руйнування зразка і тим меншою буде висота  $h_2$  (рис. 6.1).

## 6.2 Обладнання та матеріали

6.2.1 Маятниковий копр.

6.2.2 Зразки для випробувань.

6.2.3 Мікрометр, штангельциркуль.

### **6.3 Методика проведення роботи**

1. Ознайомитися з будовою і принципом роботи обладнання.
2. Зробити таблицю (таблиці) для занесення в них результатів випробувань.
3. Зробити випробування на вимірювання ударної в'язкості. Кожен дослід проводити на трьох зразках.
4. Зробити необхідні розрахунки в'язкості. Результати оформити у вигляді таблиці, графіків (гістограм).

### **6.4 Зміст звіту**

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Обладнання та матеріали.
3. Методика проведення роботи.
4. Результати випробувань на ударну в'язкість (оформити у вигляді таблиці, де вказати номер зразків, матеріал зразків, умови їх отримання, графіки, гістограми).

### **6.5 Захист роботи**

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 5.1 (лабораторна робота № 5) і п. 6.1 (лабораторна робота № 6).
2. Вміти виконати перелік робіт по п. 6.3.

### **Рекомендована література**

1. ГОСТ 9454-78: Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.

## 7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### ПРИГОТУВАННЯ МІКРОШЛІФІВ З МЕТАЛІВ І НЕМЕТАЛІВ

**Мета роботи** – отримання навичок приготування мікрошліфів з металів і не металів для металографічного дослідження.

#### 7.1 Теоретичні відомості

**Приготування мікрошліфів з металів.** Під мікроаналізом розуміють вивчення металів або сплавів за допомогою металомікроскопа на зразках зі спеціально підготовленими поверхнями – мікрошліфах. Приготування мікрошліфів складається із шліфування і полірування поверхонь. Якість підготовки мікрошліфа багато в чому визначає результати мікроструктурного дослідження. Неправильне шліфування і полірування може спотворити структуру металу, яку можна побачити під мікроскопом, тому виготовлення мікрошліфів вимагає певних знань і навичок. Розглянута поверхня мікрошліфа повинна бути плоскою і блискучою.

Найбільш зручним мікрошліфом (рис. 7.1) є циліндр діаметром 10 – 20 мм і висотою 10 – 15 мм або паралелепіпед зі сторонами основи 10 – 20 мм при тій же висоті. Часто форма і розміри мікрошліфів визначаються розмірами деталей, що досліджуються, або напівфабрикатів і можуть бути значно менше, а іноді і більше рекомендованих (наприклад, листи, дріт, дрібний різальний інструмент, шматки зламаних деталей). У цьому випадку розмір мікрошліфів визначиться товщиною листа, діаметром дроту тощо.

Якщо зразок, що досліджується, являє собою тонку пластинку або лист 1 (рис. 7.2), то для зручності шліфування і полірування його затискають у струбцину 2 або в металевій муфті 1 (рис. 7.3), заливають розплавленою сіркою 2, бакелітом, легкоплавким сплавом або епоксидним клеєм.

**Місце і спосіб вирізання зразка.** Зразок вирізають з тієї частини виробу або заготовки, що представляє в даному дослідженні найбільший інтерес. Наприклад, якщо метою дослідження є встановлення причин руйнування, вирізають зразок у безпосередній близькості від зламу. Із заготовок або виробів, підданих пластичній деформації, вибирають два зразка: один уздовж, другий поперек волокон.

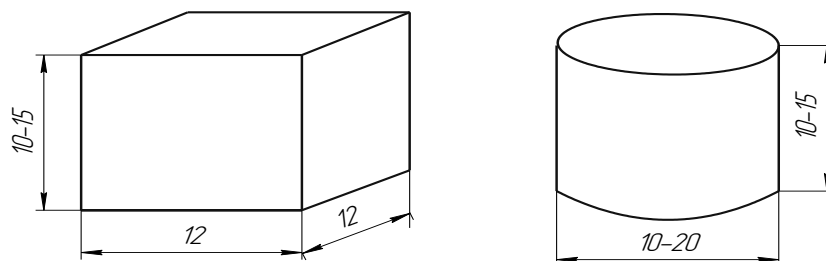


Рисунок 7.1 – Нормальні розміри металографічних шліфів

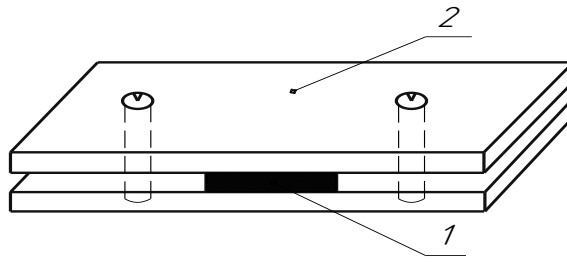


Рисунок 7.2 – Шліф, затиснутий у струбцину пристосування для приготування мікрошліфів

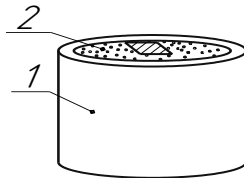


Рисунок 7.3 – Шліф залитий у епоксидний клей

Вирізання зразка мікрошліфа виконується ножівкою або на фрезерному, стругальному, токарному верстаті. Якщо матеріал крихкий (наприклад, білий чавун), то шматочок для виготовлення шліфа можна відбити молотком. Якщо матеріал твердий, зразок відрізають тонким шліфувальним кругом.

Вирізання необхідно вести з охолодженням зразка водою, інакше він буде нагріватися і структура сплаву може змінитися.

**Вирівнювання грані зразка.** Вирівнювання грані, призначеної для мікроаналізу, виконують на абразивних кругах, якщо матеріал твердий. Для м'яких або дуже крихких металів і сплавів цю роботу роблять напилком або грубим шліфувальним папером. Операцію закінчують після повного вирівнювання всієї поверхні зрізу (рисунок 7.4). При обробці на абразивних кругах варто застосовувати інтенсивне охолодження водою.

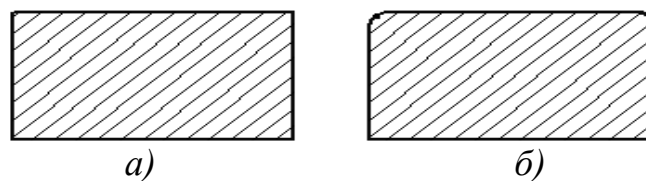


Рисунок 7.4 – Приготування мікрошліфів: *a* – правильне; *б* – неправильне

**Шліфування.** Після вирівнювання грані зразок очищають від часток металу, наждаку й шліфують на шліфувальному папері різної зернистості на спеціальних шліфувальних верстатах або вручну.

В таблиці 7.1 наведена класифікація абразивних порошоків і виготовлених з них шліфувальних паперів, яка заснована на поділенні абразивів по величині зерна.

При шліфуванні вручну шліфувальний папір кладуть на товсте скло для створення твердої, рівної підкладки й зразок переміщують по цьому паперу, злегка притискаючи. Шліфують зразок доти, поки не зникнуть сліди попередньої обробки. При переході на дрібнозернистий папір зразок очищають від наждакового пилу, повертають під кутом 90° і шліфують також доти, поки не зникнуть сліди попередньої обробки (риски, подряпини).

Після тонкого шліфування зразок промивають струменем води для видалення часток металу, абразиву й піддають поліруванню.

Таблиця 7.1 – Класифікація абразивних порошоків

Найменування групи	Номер зернистості	Межі розмірів абразивних зерен, <i>мкм</i>	Найменування групи	Номер зернистості	Межі розмірів абразивних зерен, <i>мкм</i>
Шліф-порошки	100	150 – 125	Мікро-порошки	M40	40 – 28
	120	125 – 105		M28	28 – 20
	150	105 – 75		M20	20 – 14
	180	85 – 63		M14	14 – 10
	220	75 – 53		M10	10 – 7
	240	63 – 42		M7	7 – 5
	280	53 – 28		M5	5 – 3
	320	42 – 20			

**Полірування.** Шліфи полірують на плоскому колі, що обертається (рис. 7.5), насадженому на вал електродвигуна 3. Коло покрите сукном, що змочується водою зі дрібним порошком, наприклад, окису алюмінію або хрому. Полірувальна рідина подається на коло по трубці 4. Ступінь змочування кола регулюють краником 5. При поліруванні зразок 2 притискають до поверхні кола всією площиною. Під час полірування зразок потрібно повертати. Полірування чавуну й сталі повинне тривати не більше 5 – 15 хв. і повинне припинятися як тільки будуть виведені останні риски, що залишилися на шліфі після шліфування. Більш тривале полірування викликає викришування складових структури. Полірування закінчують після того, як мікрошліф здобуває дзеркальну поверхню й при розгляданні під лупою зі збільшенням в 5 – 10 разів не розпізнають на шліфі дефектів у вигляді подряпин, рисок та т.і.

Потім шліф промивають водою, спиртом і сушать прикладанням (не витиранням) до фільтрувального паперу.

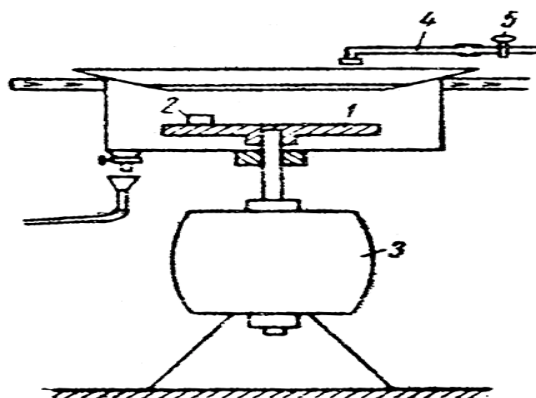


Рисунок 7.5 – Схема полірувального верстата

Краще застосовувати електролітичне полірування шліфів. Цей метод має ряд переваг перед звичайним (механічним) методом полірування. Наприклад, тут виключається можливість зміни структури в поверхневому шарі внаслідок наклепу, що може утворитися при механічному поліруванні.

Спосіб електролітичного полірування полягає в тому, що шліф розміщують як анод у ванну з електролітом. Катодом служить звичайно пластинка з нержавіючої сталі. Через електроліт пропускають постійний струм, у результаті чого відбувається анодне розчинення нерівностей (виступів) на поверхні зразка, що шліфується, і поверхня шліфа стає гладкою й дзеркальною.

У деяких лабораторіях для шліфування й полірування чорних металів застосовують пасту ДОІ (Державного оптичного інституту) або хромоалюмінієву пасту. Паста ДОІ випускається трьох сортів по зернистості: груба, середня й тонка, і складається з оксиду хрому, стеарину, олеїнової кислоти, соди й гасу.

Пастою ДОІ шліфи обробляють у такий спосіб. Добре зачищена напилком або абразивним колом поверхня шліфа обробляється протягом 6 – 7 хв. грубою пастою, нанесеною на відшліфовану поверхню плити, злегка зволожену гасом.

Після віддалення рисок, що залишилися від зачищення напилком, зразок обробляють середньою, а потім тонкою пастою.

Дзеркальна поверхня виходить після полірування шліфа протягом 3 – 5 хв. на колі, що обертається, з натягнутим сукном або фетром, змоченим гасом і покритим пастою.

Шліфи зберігають в ексикаторі. Ексикатор (рис. 7.6) являє собою скляну посудину 1 із щільно притертою кришкою 2. У посудині перебуває прожарений (зневоднений) хлористий кальцій 3, що, поглинаючи вологу, захищає шліф 4 від окислення.

При поліруванні сплавів з відносно великою різницею у твердості фаз або структурних складових, останні добре виявляються без додаткового травлення.

Рельєф, що утворився на поверхні мікрошліфа, обумовлений тим, що м'які складові сплаву стираються при шліфуванні й поліруванні швидше, ніж тверді.

Цей спосіб можна застосовувати для білих чавунів, заевтектоїдних сталей й інших подібних сплавів.

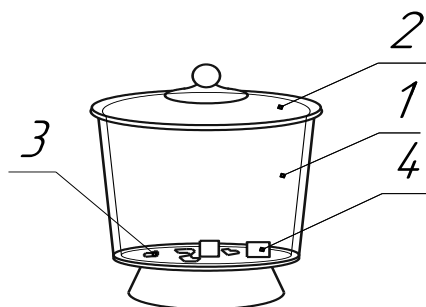


Рисунок 7.6 – Ексикатор

Полірований шліф металу в не травленому вигляді під мікроскопом має вигляд світлого кола. Якщо в металі є неметалічні включення (оксиди, сульфіди, фосфіди, нітриди й т.д.), то останні спостерігаються без травлення.

На зразках після полірування проводять металографічний аналіз графіту, неметалічних включень і мікроскопічних дефектів тощо.

Для виявлення структури металу шліф потрібно піддати травленню.

**Методи виявлення мікроструктури.** Мікроструктура металів та сплавів характеризується величиною зерен та їх розташуванням, формою, розміром, кількістю різноманітних фаз. Все це визначає фізико-механічні властивості сплавів.

Для виявлення мікроструктури сплавів використовують наступні методи:

- хімічне травлення (травлення поверхні зразка відбувається під дією хімічних реактивів);

- електролітичне травлення (в електроліті відбувається розчинення визначених фаз сплаву поверхні зразка (шліфа) – анода);

- магнітний метод – використовується для визначення феромагнітної фази у немагнітній основі (на шліф наносять суспензію з магнітним порошком, який осаджується на ділянках феромагнітної фази та відображає її обрис);

- теплове травлення (при нагріві шліфа під впливом кисню відбувається його окислення і в першу чергу по границям різноманітних фаз та зерен);

- травлення в розплавах солей (засновано на утворенні окисних плівок різного кольору на поверхні шліфа під впливом розплаву гарячих солей);

- катодне розпилення – виявлення мікроструктури відбувається за рахунок розпилення поверхні шліфа (катода) у двохелектродній газорозрядній трубці, яка заповнена нейтральними газами;

- підсилення рельєфу мікроструктури після об'ємних перетворень – має застосування у випадках коли в сплаві відбулися фазові перетворення зі змінами об'єму, що спостерігається на поверхні добре виготовленого шліфа у вигляді рельєфу, що відповідає фазі, яка виникла.

У результаті травлення на поверхні шліфа утворюються виступи й западини, що характеризують мікроструктуру сплаву. Для травлення мікрошліфів застосовують багато реактивів. Нижче наведено кілька прикладів.



#### **Для сталей і чавунів:**

- 5 %-вий розчин  $HNO_3$  в етиловому спирті;
- 4 %-вий розчин пікринової кислоти в спирті;
- пікрат натрію (пікринова кислота і їдкий натр) - стандартний реактив застосовується для того, щоб відрізнити цементит від фериту;
- реактив для травлення жароміцних сплавів:  $20\text{ см}^3$  концентрованої  $HCl$ ,  $5\text{ г}$   $CuSO_4$ ,  $20\text{ см}^3$   $H_2O$ ;
- реактив для травлення нержавіючих сталей: 3 частини  $HCl$  й 1 частина  $HNO_3$ ; реактивом користуються через 24 години після приготування.

#### **Для алюмінієвих сплавів:**

- 0.5 %-вий розчин фтористої кислоти у воді;
- суміш кислот: 1 %  $HF$ , 2,5 %  $HNO_3$ , 1,5 %  $HCl$ , 95 %  $H_2O$ .

#### **Для мідних сплавів:**

- 6 %-вий аміачний розчин  $CuCl_2$ ;
- 3 %-вий розчин  $FeCl_3$  в 10 %-вому розчині  $HCl$ .

#### **Для бабітів і магнієвих сплавів:**

- 2 – 4 %-вий розчин  $HNO_3$  у спирті;
- оцтовий гліколь складу: 20 % оцтової кислоти, 60 % етиленгліколю, 1 % концентрованої азотної кислоти й 19% води (застосовується для магнієвих сплавів); травильний розчин наноситься на поверхню мікрошліфа й через 5 – 30 с стирається ваткою; шліф промивається в гарячій воді й висушується.

Зазначені реактиви наливають у невелику порцелянову скляну чашку. Перед травленням поліровану поверхню шліфа для знежирення промивають спиртом, а потім шліф занурюють на кілька секунд у реактив. Час травлення є різним для різних сплавів і структур. Після травлення шліф промивають водою, а потім спиртом і сушать прикладанням до фільтрувального паперу.

Розглядаючи протравлений шліф під мікроскопом, визначають, чи досить виявлена структура. Якщо структура виявлена нечітко, шліф травлять додатково.

Ціль травлення полягає в тому, щоб штучно викликати в сплаві неоднакове відбиття світла різними структурними складовими або одержати чіткі границі, що відокремлюють одне зерно від іншого.

Схема на рисунку 7.7 наочно пояснює видимість границь зерен фериту, мікроструктура якого показана на рисунку 7.8.

У результаті травлення шліфа 4 %-вим розчином  $HNO_3$  у спирті границі зерен фериту витравлюються сильніше й дають поглиблення. Ці поглиблення, що відповідають границям зерен, внаслідок розсіювання світла здаються під мікроскопом темними лініями.

На рисунках 7.8 – 7.10 наведені приклади мікроструктур де-яких металів.

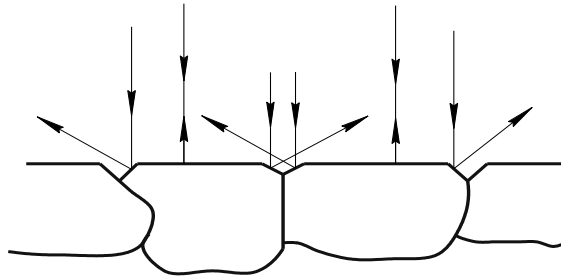


Рисунок 7.7 – Схема, що пояснює видимість границь зерен фериту під мікроскопом

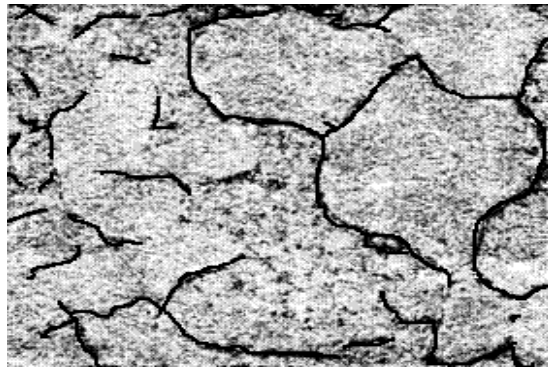


Рисунок 7.8 – Технічне залізо, зерна фериту після травлення 4 %-вим розчином  $HNO_3$  у спирті,  $\times 200$

Різне забарвлення зерен фериту пояснюється їхньою анізотропією. У перерізі шліфа зерна фериту перерізані по різних кристалографічних площинах, а, оскільки, властивості зерен у різних перерізах неоднакові, то й розчинення кожного зерна під дією реактиву відбувається по-різному. Те зерно, що протравилося сильніше, здається темнішим при спостереженні під мікроскопом, тому що після відбиття від нього світла воно дає більше розсіювання променів.

У результаті під мікроскопом спостерігають зерна різних відтінків: від яскраво-світлих до зовсім темних.



Рисунок 7.9 – Структура чистого не травленого свинцю, відлитого на скло,  $\times 400$

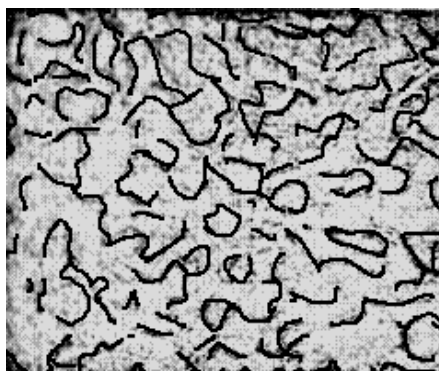


Рисунок 7.10 – Чиста мідь після прокатки, відпалу і травлення 3 %-вим розчином  $FeCl_3$  в 10 %-вим  $HCl$ ,  $\times 100$

**Скло, ситали та напівпровідники.** Різку вказаних матеріалів розглянемо на прикладі різки скляних трубок (стержнів). Різка скла на шайби (диски) проводиться дисками с зовнішньою ріжучою кромкою, відрізними алмазними кругами діаметрами 200 мм або 100 мм.

Спосіб різки, що буде розглядатися, є найбільш простий. Одночасна участь в різанні великої кількості алмазних зерен забезпечує високу продуктивність обробки, в тому числі і напівпровідникових матеріалів. Необхідний крок різання забезпечується повздовжньою подачею.

При різанні по даній схемі треба враховувати, що під дією сил різання диск може згинатися в поперечному напрямі, а також можуть бути вібрації диску в процесі різання (коливання в осьовому напрямку) за рахунок невисокої жорсткості інструменту. Все це негативно впливає на якість різання (поява на поверхні, що оброблена, відколів, тріщин, рисок). Експерименти показали що при діаметрі відрізного диска 200 мм якість різання погіршується.

Для збільшення жорсткості інструмента використовуються притискні фланці діаметром  $D_\phi$ :

$$D_\phi = \frac{D_\phi}{1.5}, \quad (7.1)$$

де  $D_\phi$  – діаметр фланця, мм;

$D_\phi$  – діаметр відрізного диску, мм.

Крім цього, для підвищення жорсткості інструмента використовується підвищення швидкості різання (6000 – 8000 об·хв<sup>-1</sup>). При збільшенні швидкості різання відцентрова сила, яка направлена по радіусу диска, надає йому додаткову жорсткість. Крім цього, збільшення швидкості різання зменшує сили різання (зменшується середня величина шару скла, що знімається кожним алмазним зерном), що сприятливо впливає на підвищення зносостійкості інструмента і якості різання.

Згідно рекомендаціям при швидкостях різання більш 10000 об·хв<sup>-1</sup> починається сильна вібрація.

З двох видів дисків перевага віддається кругу діаметром 100 мм, оскільки останній має більш кращу якість різання.

Для фіксації закріплення скляних заготовок в пристосуванні застосовується армування. Крім того, армування дозволяє підвищити вібростійкість компонентів системи і забезпечити об'ємний контакт деталі з пристосуванням.

В якості засобів, що армують, використовуються самотвердіючі оборотні речовини, які при кімнатній температурі переходять з рідкого стану в твердий, утворюючи адгезійно-когезійний зв'язок, і що дозволяють досить легко видаляти їх з матеріалу, що оброблювався, та дають можливість неодноразового їх використання.

При використанні механічного різання скляних заготовок на шайби використовується сплав Вуда або клеюча речовина, яка складається з бджолиного воску і каніфолі (піцеїн).

**Характеристика армуючих матеріалів.** Сплав Вуда – легкоплавка, гранульована речовина сірого кольору на основі вісмуту ( $Bi - 50 \%$ ;  $Pb - 25 \%$ ;  $Sn - 12,5 \%$ ;  $Cd - 12,5 \%$ ). Механічні характеристики сплаву:  $\sigma_p = 4,2 \text{ кг}\cdot\text{мм}^{-2}$ ;  $HV = 9,2 \text{ кгс}\cdot\text{мм}^{-2}$ ;  $\delta = 25 \%$ ;  $\rho = 9,4 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ ;  $T_{пл} = 341 \text{ К}$ . Розплавлення і віддалення армованого шару проводять зануренням деталі в гарячу воду при температурі 338 – 343 К. Сплав придатний для 3 – 5 кратного армування, після чого рецептура його втрачає адгезійно-когезійні властивості [2].

Бджолиний віск – пластична речовина кристалічної будови від золотистого до жовто-коричневого кольору. Густина при температурі 288 К складає 0,956 – 0,970  $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$ . Віск являє собою: з'єднання складних ефірів, жирних кислот, ефірних масел і води; водонепроникний і стійкий до кислот; частково розчиняється в бензині, повністю в трихлоретилені. При температурі 334 – 356 К переходить в рідкий стан. Віск має медовий запах і нешкідливий в роботі.

Каніфоль – прозора крихка речовина від світло-жовтого (вищий сорт) до темно-коричневого кольору, що є продуктом відгону летких частин живиці деревини хвойних порід. Температура розм'якшення 328 – 356 К, густина 1,07  $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$ , коефіцієнт усадки 3,9 %. Розчиняється в спирті, ацетоні або бензині.

Виготовлення піцеїну (25 % каніфоль, 75 % бджолиний віск) відбувається змішуванням вихідних компонентів і подальшим варінням. Час варіння впливає на властивості піцеїну і повинен підбиратися дослідним шляхом.

**Особливості приготування піцеїну.** Спочатку віск зважується і розплавляється в лотку. Для віддалення осаду віск треба проціджувати скрізь марлю. До розплавленого воску додається розтерта каніфоль та постійно перемішується. Суміш нагрівається до температури 423 – 573 К протягом 10 – 15 хвилин, після чого отриману клейку речовину заливають у форми і охолоджують.

Для різання скла кращі результати показало армування скла піцеїном, ніж сплавом Вуда.

Оскільки при різанні виділяється велика кількість теплоти, то охолодження зони різання здійснюється водою. Крім того, наявність рідини, що охолоджує, сприяє віддаленню відходів матеріалу, що розрізається, із зони різання. Це підвищує якість різання.

Послідовність технологічних операцій різання трубок на шайби:

1. Приготування клейкої речовини – піцеїну (температура 369 – 371 K).
2. Приклеювання трубок до скляної пластини (температура 363 – 283 K).
3. Приклеювання скляної пластини з трубками до пристосування (температура 363 – 283 K).
4. Різання скляних трубок на шайби.
5. Очищення і сушка шайб.
6. Контроль якості різання.

**Очищення скляних деталей після механічного різання.** Операція очищення після механічного різання скляних деталей на шайби проводиться у декілька етапів.

На першому етапі скляні деталі завантажуються у ванну з розчином їдкою натрію. Розчин готується з розрахунку 25 г на 1 літр дистильованої води. Очищення в розчині лугу проводиться при температурі 371 – 373 K протягом 20 – 30 хв (періодично перемішуючи).

На другому і третьому етапах виконується промивання в гарячій та холодній дистильованій воді відповідно.

На наступному етапі миття скло обробляється в концентрованій азотній кислоті (густина 1,4) при кімнатній температурі протягом 5 – 10 хв з подальшим промиванням у дистильованій воді (до 3 хв) і сушкою при температурі 386 – 396 K протягом 20 – 30 хв.

Після операції очищення скляні зразки піддаються контролю зовнішнім оглядом і мікрометром. На їх поверхні не допускається наявність чужорідних включень, раковин, сколов, деформацій поверхні.

**Вимоги до поверхні скляних деталей.** До поверхні скляних деталей (зразках), що будуть використовуватися для металографічного аналізу, висуваються наступні вимоги:

- чистота поверхні;
- чистота обробки поверхні ( $R_a \leq 0,02$  мкм);
- відсутність мікротріщин у приповерхневому шарі;
- площинність поверхні;
- гострота граней.

**Шліфування скляних деталей.** Шліфування проводиться водною суспензією карбиду кремнію на металевому диску (Сталь 45), а полірування водною суспензією оксидів заліза на смоляному полірувальнику. Це дає поліровану поверхню високого класу чистоти, площинності та гостроти граней. В якості устаткування при обробці скла використовується шліфувально-полірувальний верстат.

Металевий притир 1 (Сталь 45) з нанесеною на нього суспензією обертається з швидкістю  $60 - 120 \text{ об} \cdot \text{хв}^{-1}$  (рис. 7.11). Рівномірний розподіл суспензії по поверхні притиру відбувається під впливом шайби 2, виготовленою з того ж матеріалу що і притир. Закріпленні на металевій пластині 3 скляні деталі притискаються вагою 4 (550 г). Шайбі 2 через ролики 6 важелем 5 передається коливальний рух внаслідок чого вона разом з вагою, металевою пластиною і деталями довільно обертається в тому ж напрямі що і притир 1. Притир кріпиться до валу гвинтом 7, що дозволяє при зміні операції виконати його заміну. Частота коливань важеля знаходиться в залежності від обертів притиру і відноситься як  $1:3 = n_{\text{важеля}} : n_{\text{притира}}$ .

В якості притира використовуються змінні диски (матеріал дисків Сталь 45). Диски можуть використовуватися з двох сторін (рис. 7.12).

Закріплення деталей на металеву пластину (рис. 7.13) робиться за допомогою піцеїна (75 – 80 % каніфолі, 20 – 25 % воску). Шар, що склеює, має бути мінімальним з метою зведення дефекту установки (клиновидності) до мінімуму.

Шліфування скляних шайб проводиться водною суспензією карбідів кремнію в 3 стадії.

Перша стадія:

діаметр частинок.....	40 мкм
час шліфування .....	3 – 10 хв
(в залежності від точності встановлення деталей)	
інтенсивність шліфування.....	$28,9 \text{ мм}^3 \cdot (\text{хв} \cdot \text{кгс})^{-1}$

Друга стадія:

діаметр частинок.....	28 мкм
час шліфування.....	3 – 7 хв
інтенсивність шліфування.....	$11,4 \text{ мм}^3 \cdot (\text{хв} \cdot \text{кгс})^{-1}$

Третя стадія:

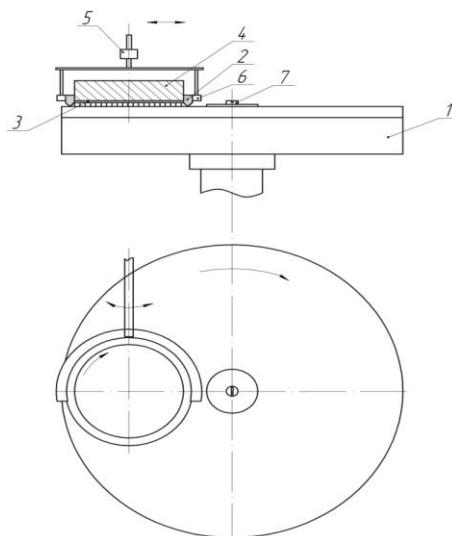
діаметр частинок.....	10 мкм
час шліфування.....	2 – 5 хв
інтенсивність шліфування.....	$9,2 \text{ мм}^3 \cdot (\text{хв} \cdot \text{кгс})^{-1}$

Після шліфування вільним абразивом (водною суспензією карбиду кремнію) скло має рівномірну матову поверхню без сколів по краях, або з незначною кількістю сколів, що відповідає вимогам гостроти граней і площинності.

**Технологія полірування скляних деталей.** Полірування скляних деталей здійснюється водною суспензією оксидів заліза на смоляному полірувальнику. Процес полірування ґрунтується на хіміко-механічній взаємодії оксидів заліза із склом. В результаті цього процесу порушений шліфовкою шар мікротріщин поступово знімається. Таким чином, порушена структура скла залишається мінімальною. Замість оксидів заліза також можливо використовувати м'які поліруючі порошки на основі окислу церію, цирконію або торію.

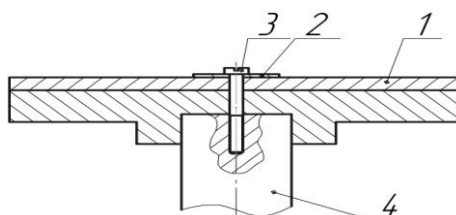
Нанесення суспензії здійснюється вручну: пензликом або поливанням з поліетиленового еластичного балона на вільну частину полірувальника. В

якості устаткування використовується шліфувально-полірувальний верстат (рис. 7.5) на якому замість притиру встановлюється смоляний полірувальник.



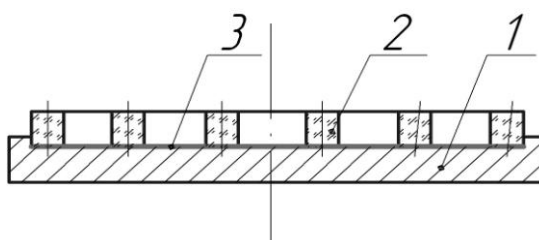
1 – притир; 2 – шайба; 3 – пластина;  
4 – вага; 5 – важіль; 6 – ролики; 7 – гвинт

Рисунок 7.11 – Шліфувально-полірувальний верстат



1 – змінний диск; 2 – шайба; 3 – гвинт; 4 – вал

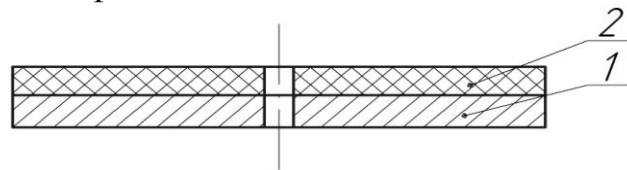
Рисунок 7.12 – Кріплення змінних дисків



1 – металева пластина; 2 – скляні деталі;  
3 – піцін

Рисунок 7.13 – Кріплення скляних шайб на пластині

Смоляний полірувальник (рис. 7.14) є металевим диском 1 з отвором для кріплення на який нанесена пеко-каніфолійова смола 2 в співвідношенні 20 – 25 % пека і 75 – 80 % каніфолі.



1 – металічна пластина;  
2 – пеко-каніфолійова смола

Рисунок 7.14 – Смоляний полірувальник

Полірувальник затискається на шліфувально-полірувальному верстаті гвинтом так само, як і притири.

При виготовленні полірувальника приготована пеко-каніфолійова смола в розплавленому вигляді виливається на підігрітий металевий диск, по краях якого приклеюється паперова стрічка. Після охолодження полірувальник встановлюється на полірувальному верстаті і підрізається ножом до потрібної площинності. Для створення на полірувальнику поверхні потрібної площинності, а також для створення поліруючого шару, полірувальник, зі встановленою на ньому шайбою 2 (рисунок 7.11) приробляється протягом 30 хв. При приробленні полірувальника його поверхня змочується тією ж суспензією що і при поліровці скла.

Перед проведенням операції полірування шліфовані скляні деталі піддаються ретельному промиванню в проточній воді.

Поліровка скляних деталей проводиться на наступних режимах:  
частота обертів полірувальника.....60 – 80 об·хв<sup>-1</sup>;  
час полірування.....30 – 40 хв;  
вага притиску.....500 г.

В якості абразиву використовується порошок оксиду заліза (поліроль). Консистенція водної суспензії оксидів заліза підбирається дослідним шляхом. Спочатку, протягом 10 – 20 хв, використовується густа фракція. Надалі застосовується рідша і остаточно ведеться процес використовуючи майже воду.

Проведення операції полірування на смоляному полірувальнику водною суспензією оксидів заліза дає поліровану поверхню скла, що відповідає високим вимогам чистоти обробки ( $R_a \leq 0,02$  мкм), площинності та гостроти граней.

**Очищення скляних деталей і кремнію після шліфування та полірування.** Після шліфування на поверхні деталей залишається велика кількість забруднень: залишки матеріалів, що армують, рідкої фази діамантових суспензій і паст, жирових та інших (органічні забруднення); частки абразиву і відходів обробки, пил, волокна полірувальника (механічне забруднення); сліди від пальців (неорганічні забруднення).



Технологічний процес очищення скла здійснюється по тій же методиці, що і після механічного різання.

При значному забрудненні скляних деталей перед обробкою в розчині їдкого натрію здійснюється витримка протягом 5 – 10 хвилин у ванні з ацетоном і сушкою на повітрі при температурі 291 – 293 К. У виробничих умовах доцільніше для цього використовувати фреони, тетрахлоретилен або трихлоретилен.

В процесі шліфування поверхні деталей адсорбують метали, що беруть участь в процесі механічної обробці. Віддалення цих металів передбачається обробкою в концентрованій азотній кислоті. Враховуючи, що поверхня скляних деталей повинна мати  $R_a \leq 0,02$  мкм процес промивання в азотній кислоті повинен здійснюватися при мінімальній витримці.

## **7.2 Обладнання та матеріали**

7.2.1 Заготовки (для проведення лабораторної роботи можуть використовуватися: сталі, скло, ситали та інші матеріали).

7.2.2 Інструмент для вирізання заготовок для мікрошліфів.

7.2.3 Шліфувальні порошки та пасти.

7.2.4 Полірувальний верстат.

7.2.5 Обладнання, розчини для мийки заготовок.

7.2.6 Тара для зберігання заготовок для мікрошліфів.

7.2.7 Ексикатор.

7.2.8 Металографічний мікроскоп, лупа x5, x10.

7.2.9 Мікрошліфи.

7.2.10 Розчини, дистильована вода, спирт для очищення шліфів.

7.2.11 Альбоми мікроструктур.

7.2.12 Фотообладнання.

## **7.3 Методика проведення роботи**

7.3.1 Відрізати від заданого металу зразок у вигляді циліндра або паралелепіпеда (залежно від форми заготовки). Зразки для приготування мікрошліфів можуть бути відрізані заздалегідь.

7.3.2 Зробити грубе шліфування зразка напилком або грубим шліфувальним папером.

7.3.3 Відшліфувати вручну зразок за допомогою шліфувального паперу різної зернистості.

7.3.4 Відполірувати зразок на полірувальному верстаті до одержання дзеркальної поверхні (якість поверхні перевірити за допомогою лупи з 5 – 10-кратним збільшенням, щоб визначити відсутність подряпин і рисок).

7.3.5 Зробити очищення отриманих мікрошліфів.

7.3.6 Зробити контрольний огляд отриманих мікрошліфів на наявність дефектів (риски, погано відполіровані місця).

7.3.7 Зробити фотографії характерних особливостей виготовлення

мікрошліфів з відповідним описанням, аналізом та рекомендаціями для подальшого використання).

7.3.8 Вибрати реактиви для травлення приготовлених шліфів, керуючись (вище наведеними даними).

7.3.9 Промити шліфи спиртом, просушити фільтрувальним папером і протравити.

7.3.10 Знайти оптимальний режим травлення мікрошліфів.

7.3.11 Розглянути шліфи під металографічним мікроскопом при обраному збільшенні.

7.3.12 Зробити фотографії мікроструктури мікрошліфів зразків, що досліджуються, та використовуючи альбоми мікроструктур визначити якісно фазовий склад (матеріал). Описати характерні особливості, що спостерігалися в процесі травлення та дослідження під мікроскопом мікрошліфів.

## **7.4 Зміст звіту**

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Обладнання та матеріали.
3. Методика проведення роботи.
4. Результати роботи (фотографії, таблиці використаних матеріалів та послідовності їх застосування при шліфуванні, поліруванні шліфів та травленні, особливості виконання робіт тощо).
5. Висновки.

## **7.5 Захист роботи**

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 7.1.
2. Вміти дати рекомендації по кожному етапу виготовлення мікрошліфів.

## **Рекомендована література**

1. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография (стереометрия металлических материалов). – М.: «Металлургия», 1976. – 271 с.
2. Конспект лекцій.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМООБРОБКИ СТАЛІ НА ЇЇ ТВЕРДІСТЬ

**Мета роботи** – отримати навички дослідження впливу термообробки металів і їх сплавів на їх твердість і міцність за допомогою методу вимірювання твердості по Брінеллю і отримання навичок проведення досліджень.

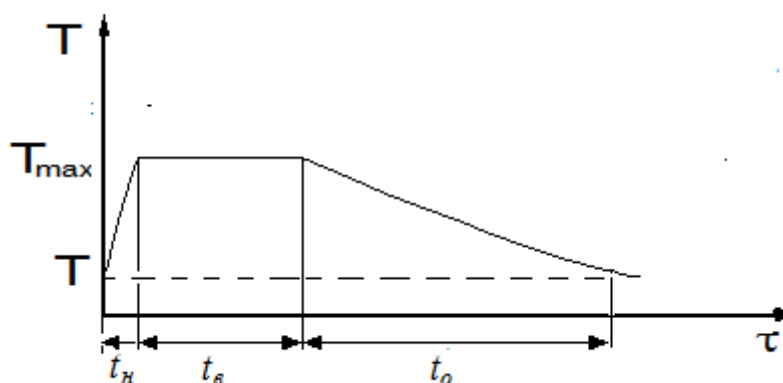
#### 8.1 Теоретичні відомості

**Термообробка** – це нагрів металу до заданої температури з наступним охолодженням. При цьому остаточно змінюються властивості металу.

Параметри режиму термообробки:

- максимальна температура нагріву,  $T_{max}$ ;
- час витримки при заданій температурі,  $t_{\theta}$ ;
- швидкість нагріву  $v_n$ ;
- швидкість охолодження,  $v_o$ .

Термічний цикл простої термообробки показано на рисунку 8.1.



$T_{max}$  – максимальна температура нагріву;  
 $T$  – температура навколишнього середовища;  
 $t_{\theta}$  – час витримки;  $t_n$  – час нагріву;  $t_o$  – час охолодження

Рисунок 8.1 – Термоцикл простої термообробки

При термообробці використовується діаграма стану, яка показує яким видам термообробки може бути піддано той чи інший сплав та в яких температурних інтервалах треба проводити термообробку. До термообробки здатні ті сплави, в яких при нагріві в твердому стані відбуваються зміни розчинності або алотропічні перетворення. Основою для термообробки сталі є діаграма залізо-вуглець. Лінія PSK ( $727^{\circ}C$ ) цієї діаграми відповідає перетворенню  $A \leftrightarrow \Pi$  (рис. 8.2). Критична точка перетворення  $A \rightarrow \Pi$

позначається  $Ar_1$  (лінія  $GSE$ ), а  $\Pi \rightarrow A$  позначається  $Ac_1$ . Початок виділення  $\Phi$  з  $A$  позначається  $Ar_3$ , а кінець розчинності  $\Phi$  в  $A$  позначається  $Ac_3$ .

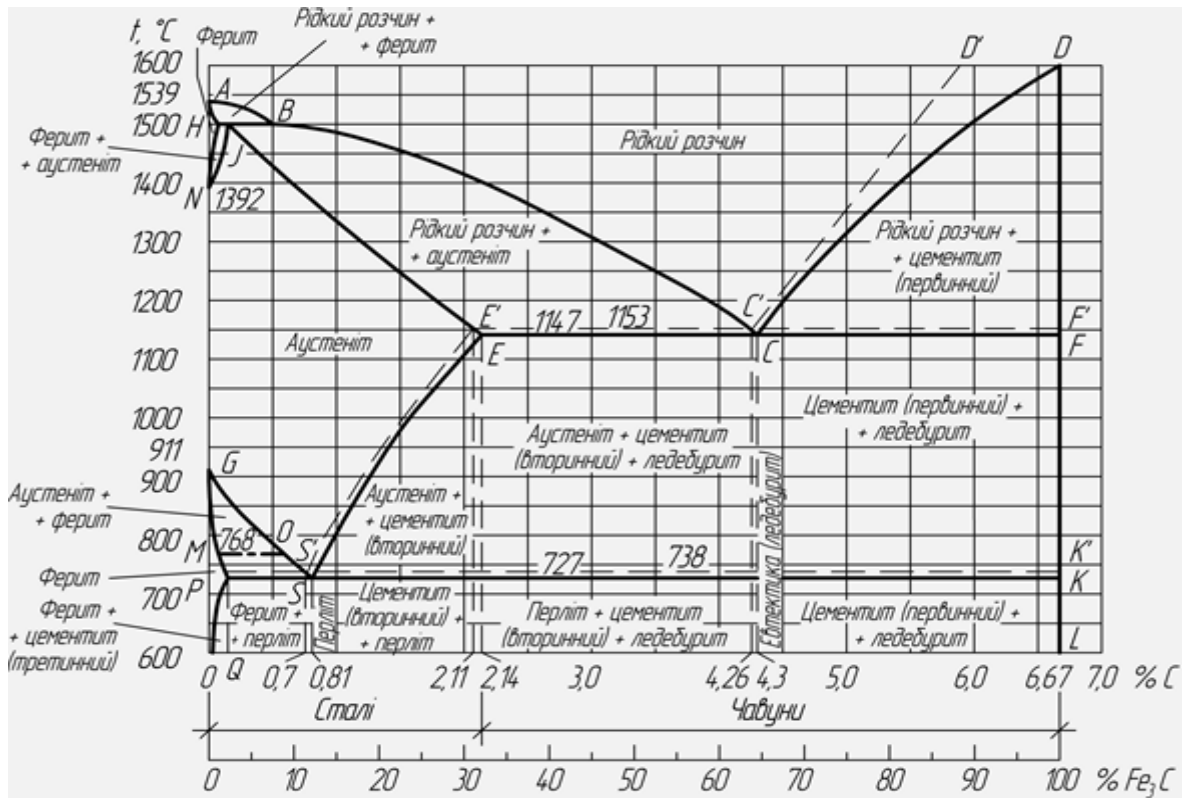


Рисунок 8.1 – Діаграма стану системи залізо – вуглець

В практиці термічної обробки прийнято називати горизонтальну лінію  $PSK$  ( $727^\circ C$ ) лінією  $A_1$ ; лінію  $GS$  –  $A_3$ ; а лінію  $SE$  –  $A_{cm}$ .

На практиці використовуються наступні види термообробки.

**Загартування** – нагрів метала до температури більше температури початку перетворень (вище критичної точки  $Ac_3$ ) з наступним швидким охолодженням (вище критичної) для отримання структурно нестійкого стану (аустеніт сталі перетворюється в мартенсит), з метою отримання максимальної міцності, твердості, зносостійкості тощо.

При охолодженні сталі, нагрітої до високої температури, можливі два варіанти перетворення аустеніту:

Швидкість охолодження, при якій не відбувається дифузійного розпаду аустеніту і утворюється структура мартенситу, називається критичною швидкістю охолодження  $V_{кр}$ . Тому для гартування сталі, нагрітої до аустенітного стану, необхідна швидкість охолодження, яка перевищує  $V_{кр}$ .

Структура мартенситу, яка отримується після гартування, є нестійкою. Вона має високу міцність, твердість, але при цьому має дуже великі внутрішні напруження і крихкість. Для зменшення внутрішніх напружень і отримання необхідного комплексу механічних властивостей після гартування проводять відпущення.

**Відпал (1-го роду)** – нагрів металу, який має нестійкий стан в результаті попередньої обробки (наприклад, наклеп), що приведе його в більш стійкий стан.

**Відпал (2-го роду)** – нагрів металу до температури більше температури початку перетворень з наступним повільним охолодженням (частіше з піччю) для отримання структури стійкого стану. При відпалі сталі відбуваються фазова перекристалізація, яка полягає в нагріві сталі вище  $A_{c3}$  з наступним повільним охолодженням. При нагріві між  $A_{c1}$  і  $A_{c3}$  повна перекристалізація не відбудеться. Така термообробка має назву – **неповний відпал**. Структура сталі після відпалу:  $P+\Phi$ ,  $P$  або  $P+C_{II}$ .

Відпалювання робиться з метою зменшення твердості, внутрішніх напружень, поліпшення обробки різанням.

При **відпущенні** нестійка структура мартенситу розпадається і переходить в більш стабільний стан. При цьому структура і властивості оброблюваної сталі залежать від температури відпущення. Чим вище температура відпущення, тим менше твердість і міцність, але більше пластичність і в'язкість сталі.

**Низькотемпературне** відпущення ( $T = 150 - 200$  °C) служить для зменшення внутрішніх напружень, крихкості при збереженні високої твердості і міцності. Мартенсит гартування перетворюється на мартенсит відпущення. Цей вид відпущення застосовують, як правило, для ріжучого і вимірального інструменту. Залежно від вмісту вуглецю в сталі твердість мартенситу складає 550 – 650 НВ.

**Середньотемпературне** відпущення ( $T = 300 - 450$  °C) приводить до розпаду мартенситу і утворення високодисперсної суміші фериту і цементиту, яка називається троститом відпущення. Структура троститу має знижену міцність і підвищену в'язкість в порівнянні з мартенситом. Сталь із структурою троститу відпущення характеризується найвищою пружністю серед інших структур. Тому таке відпущення застосовується для ресор і пружин різного призначення. Твердість троститу знаходиться в межах 400 – 550 НВ.

**Високотемпературне** відпущення ( $T = 450 - 600$  °C) приводить зростання цементитних частинок, що з'явилися при температурі середнього відпущення. Така, менш дисперсна, суміш фериту і цементиту називається сорбітом відпущення. Сорбіт має оптимальне поєднання високої пластичності і ударної в'язкості з гарною міцністю. Твердість сорбіту 250 – 350 НВ. Термічна обробка, що складається з гартування і високого відпущення, називається **поліпшенням**. Більшість деталей машин відповідального призначення піддають поліпшенню.

Якщо після нагріву вище  $A_{c3}$  провести охолодження на повітрі, то така термообробка має назву **нормалізація** (нормалізаційний відпал). При нормалізації доевтектоїдні сталі нагріваються до температури на 50 °C вище критичної точки завершення перетворення надлишкового фериту в аустеніт  $A_{c3}$ , а заевтектоїдні сталі до температури на 50 °C вище точки завершення перетворення надлишкового цементиту в аустеніт  $A_{cm}$ . Нагрів ведеться до повної перекристалізації. Охолодження на повітрі. В результаті цього сталь отримує дрібнозернисту, однорідну структуру. Твердість, міцність сталі після

нормалізації вище на 10 – 15 %, ніж після відпалу, покращується обробка різанням. Структура низьковуглецевої сталі після нормалізації ферито-перлитна, так як і після відпалу, а у середньо- і високовуглецевої сталі – сорбітна. В ряді випадків нормалізація може замінювати для низьковуглецевої сталі відпал, а для високовуглецевої сталі – покращення (загартування з високим відпущенням). Часто нормалізацію використовують для підготовки сталі до загартування.

**Хіміко-термічна обробка** – насичення сплаву при нагріві хімічними елементами. При цьому змінюється хімічний склад і структура поверхні, а іноді і усього об'єму.

**Термомеханічна обробка** – поєднання в одному технологічному процес деформації (наприклад, наклеп) і структурних перетворень за рахунок нагріву (термообробки).

**Вимірювання твердості за Брінеллем.** Випробовування за Брінеллем (ГОСТ 9012—83) проводяться шляхом вдавлювання в метал сталевої кульки. У результаті на поверхні металу утворюється сферичний відбиток (рис. 8.2).

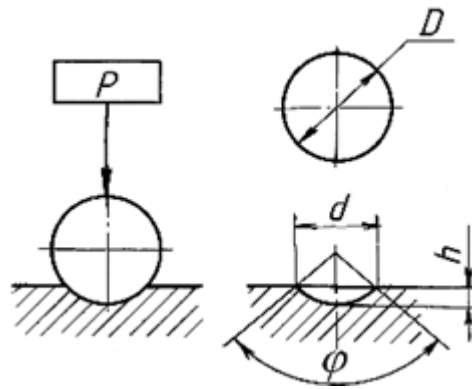


Рисунок 8.2 – Схема вдавлювання кульки в метал

Твердість за Брінеллем визначається за формулою:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} 10^{-6}, \text{ МПа} \quad (8.1)$$

де  $P$  – навантаження на метал,  $H$ ;  $D$  – діаметр кульки,  $м$ ;  $d$  – діаметр відбитка,  $м$ .

Чим твердіший метал, тим менша площа відбитка. На практиці після отримання відбитку, замірюють його діаметр за допомогою спеціальної лупи і за формулою або по спеціальним таблицям визначають величину твердості. Якщо, матеріал, що досліджується невідомий, то сама величина твердості може орієнтовна вказати, який це матеріал, бо кожен з них має свою твердість.

Діаметр кульки і навантаження встановлюють залежно від металу, який досліджують, його твердості та товщини. При випробуванні сталі та чавуну вибирають  $D = 10 \text{ мм}$  і  $P = 30 \text{ кН}$  (3000 кгс), при випробуванні міді та її сплавів  $D = 10 \text{ мм}$  і  $P = 10 \text{ кН}$  (1000 кгс), а при випробуванні дуже м'яких металів ( $Al$ ,

мідь та ін.)  $D = 10 \text{ мм}$  і  $P = 2,5 \text{ кН}$  (250 кгс). При випробуванні зразків товщиною менше 6 мм вибирають кульки з меншим діаметром — 5 і 2,5 мм. На практиці користуються таблицею переведення площі відбитка у число твердості.

Для отримання однакової твердості при використанні кульок різних діаметрів необхідно, щоб кут  $\varphi$  (рис. 8.2) залишався незмінним при постійному відношенні навантаження до квадрату діаметра кульки, яке позначається через (8.2):

$$K = \frac{0,102P}{D^2}, \text{ Н/мм}^2$$

$$K = \frac{P}{D^2}, \text{ кг/мм}^2 \quad (8.2)$$

Для вибору значення  $K$  при випробуваннях різних матеріалів рекомендується користуватися даними таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Значення коефіцієнта  $K$

Металли и сплавы	$K$	НВ
Залізо, сталь, чавуни та інші високоміцні сплави	30	от 96 до 450
Тітан і його сплави	15	50 220
Алюміній, мідь, нікель та їх сплави	10	32 200
Магній та його сплави	5	16 100
Підшипникові сплави	2,5	8 50
Олово, свинець	1	3,2 20

Значення навантаження в залежності від діаметра кульки наведено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Значення навантаження  $P$

Діаметр кульки, мм	Навантаження $P$ , Н (кг), для $K=0,102P/D^2$ , $(P/D^2)$					
	30	15	10	5	2,5	1
1,000	294,2 (30)	–	98,07 (10)	49,03 (5)	24,52 (2,5)	98,807 (1)
2,000	1177 (120)	–	392,3 (40)	196,1 (20)	98,07 (10)	39,23 (4)
2,500	1839 (187,5)	–	612,9 (62,5)	306,0 (31,2)	153,0 (15,6)	60,80 (6,2)
5,000	7355 (750)	–	2452 (250)	1226 (125)	612,9 (62,5)	245,2 (25)
10,000	29420 (3000)	14710 (1500)	9807 (1000)	4903 (500)	2452 (250)	980,7 (100)

Твердість по Брінеллю при використанні кульки діаметром 10 мм при навантаженні (3000 кг) з витримкою під навантаження від 10 до 15 секунд позначається цифрами, які характеризують величину твердості і буквами НВ,

наприклад, 185 НВ. При інших умовах випробувань після букв НВ вказують умови випробувань в наступному порядку: діаметр кульки, навантаження, тривалість витримки під навантаженням, наприклад, 185 НВ 5/750/20 (твердість по Брінеллю з використанням кульки діаметром 5 мм при навантаженні 750 кг і витримці 20 с).

Діаметр кульки і навантаження треба обирати так, щоб діаметр відбитка кульки знаходився в межах  $0,25D < d < 0,6D$ . При недотриманні цих вимог необхідно змінювати умови випробувань ( $D$  і  $P$ ).

Метод Брінелля не рекомендовано застосовувати для металів твердістю менше  $8 \text{ кг/мм}^2$  (80 МПа) та понад  $450 \text{ кг/мм}^2$  (4500 МПа), оскільки в першому випадку діаметр відбитку буде приблизно дорівнювати діаметру кульки, а в другому відбиток буде дуже малий і кулька може деформуватися, що спотворить результати випробувань.

Твердість НВ для багатьох матеріалів пов'язана з межею міцності емпіричними залежностями (наприклад, для сталі  $\sigma_s = (2,94 - 3,53) \text{ НВ, МПа}$ ).

**Умови випробувань і вимоги до зразків.** Мінімальна товщина зразка  $S$  повинна бути не менш десятикратної товщини відбитка і визначається за формулами:

$$S \geq 10h. \quad (8.3)$$

$$S \geq \frac{0.102P}{\pi DHB} \quad (P \text{ виражено в } H), \quad (8.4)$$

$$S \geq \frac{P}{\pi DHB} \quad (P \text{ виражено в } \text{кГ}). \quad (8.5)$$

На практиці мінімальна товщина зразка визначається по таблиці додатку 2 ГОСТ 9012-59.

При випробуванні важливе значення має якість поверхні. Чим меншу глибина вдавлення індентора (або величина навантаження), тим вище повинна бути чистота поверхні (при підготовці поверхні на повинно бути нагріву, наклепу). Тривалість витримки під навантаженням повинно бути 10 – 15 секунд для сталей, а для кольорових металів і їх сплавів 10 – 180 с в залежності від матеріалу і його твердості, і повинна бути вказана в нормативно-технічній документації. Відстань між центрами двох сусідніх відбитків повинна бути не менш  $4d$ , а відстань від центру відбитка до краю зразка не менш  $2,5d$ . Для металів з твердістю менш 35НВ відстані повинні бути відповідно  $6d$  та  $3d$ .

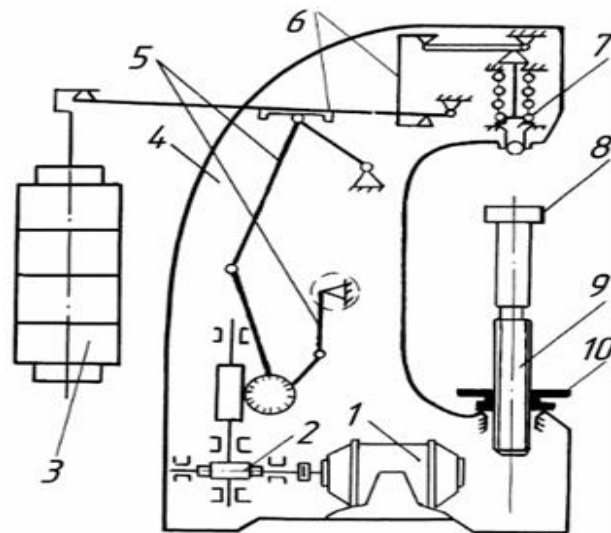
Число твердості може визначатися по формулі, а для швидкого визначення числа твердості в залежності від діаметра шарика  $D$ , навантаження  $P$  і величини  $K$  по спеціальним таблицям, що наведені в ГОСТ 9012-59.

**Проведення випробувань.** Вибирають відповідний кульковий наконечник, закріплюють його в кульковій оправці 7 (рис. 8.3), накладають на підвіску необхідну кількість вантажу і встановлюють необхідну тривалість



витримки зразка під навантаженням. Зразок кладуть на столик преса 8 і за допомогою маховика 10 упору піджимається до кульовій оправці 7. Нажимають на кнопку включення електродвигуна 1, обертання валу якого передається через редуктор 2 на зразок. Після закінчення випробування (лампочка гасне і виключається електродвигун) опускають столик і знімають зразок, після чого замірюють діаметр отриманого відбитка за допомогою спеціальної лупи або мікроскопу.

Принципова схема твердоміра показана на рисунку 8.3.



- 1 – електродвигун; 2 – черв’ячний редуктор; 3 – вантаж;  
 4 – станина; 5 – кривошипно-шатунний механізм навантаження;  
 6 – важільна система навантаження; 7 – оправка; 8 – під’ємний столик;  
 9 – гвинт; 10 – маховик

Рисунок 8.3 – Принципова схема твердоміра

На рисунку 8.4 зображено відбиток, що бачимо в лупу (4.25 мм). Діаметр кожного відбитку необхідно вимірювати два рази по двом взаємно перпендикулярним напрямкам з точністю до сотих долей мм (відмінність на повинна бути більше 2%). Роблять не менш 3 відбитків. По діаметру відбитка за формулами або по таблиці знаходять число твердості, а по ньому межю міцності матеріалу. Для сталі беруть  $\sigma_b = 3.53 \text{ НВ, МПа}$ .

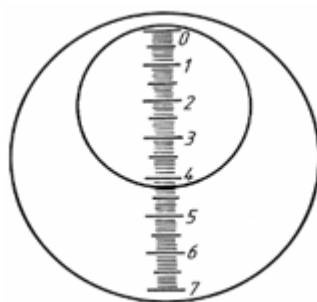


Рисунок 8.4 – Схема вимірювання відбитка

Величина твердості по Бринелю при діаметрі кульки  $D=10$  мм, навантаження  $P=29420$  Н (3000 кг) і  $K=30$  наведено в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Величина твердості по Бринелю при діаметрі кульки  $D=10$  мм, навантаження  $P=29420$  Н (3000 кг) і  $K=30$

$d$ , мм	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,40	653	648	643	637	632	627	621	616	611	606
2,50	601	597	592	587	582	578	573	569	564	560
2,60	555	551	547	543	538	534	530	526	522	518
2,70	514	510	507	503	499	495	492	488	485	481
2,80	477	474	471	467	464	461	457	454	451	448
2,90	444	441	438	435	432	429	426	423	420	417
3,00	415	412	409	406	404	401	398	395	393	390
3,10	388	385	383	380	378	375	373	370	368	366
3,20	363	361	359	356	354	352	350	347	345	343
3,30	341	339	337	335	333	331	329	326	325	323
3,40	321	319	317	315	313	311	309	307	306	304
3,50	302	300	298	297	295	293	292	290	288	286
3,60	285	283	282	280	278	277	275	274	272	271
3,70	269	268	266	265	263	262	260	259	257	256
3,80	255	253	252	250	249	248	246	245	244	242
3,90	241	240	239	237	239	235	234	232	231	230
4,00	229	228	226	225	224	223	222	221	219	218
4,10	217	216	215	214	213	212	211	210	208	204
4,20	207	205	204	203	202	201	200	199	198	198
4,30	197	196	195	194	193	192	191	190	189	188
4,40	187	186	185	185	184	183	182	181	180	179
4,50	179	178	177	176	175	174	174	173	172	171
4,60	170	170	169	168	167	167	166	165	164	164
4,70	163	162	161	161	160	159	158	158	157	156
4,80	156	155	154	154	153	152	152	151	150	150
4,90	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143
5,00	143	142	141	141	140	140	139	138	138	137
5,10	137	136	135	135	134	134	133	133	132	132
5,20	131	130	130	129	129	128	128	127	127	126
5,30	126	125	125	124	124	123	123	122	122	121
5,40	121	120	120	119	119	118	118	117	117	116
5,50	116	115	115	114	114	114	113	113	112	112
5,60	111	111	110	110	110	109	109	108	108	107
5,70	107	107	106	106	105	105	105	104	104	103
5,80	103	103	102	102	101	101	101	100	99,9	99,5
5,90	99,2	98,8	98,4	98,0	97,7	97,3	96,9	96,6	96,2	95,9
6,00	95,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–

## 8.2 Обладнання та матеріали

1. Зразки для досліджень.
2. Електропіч.
3. Ємності з водою, мастилом.
4. Інструмент для проведення технологічних робіт.
5. Твердомір.

6. Мікрометрична лупа.

### 8.3 Методика проведення роботи

1. Підготувати зразки для досліджень.

2. Провести нагрів сталі Сталь 45 (зразки № 2 – № 6) до температури закалювання ( $T = 840 - 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), витримати в пічці ( $t = 15 \text{ хв}$ ) та зробити наступні дії після витримки:

– зразок № 2 зразу після пічки опустити в мастило до повного охолодження, протерти і зачистити наждачною шкуркою;

– зразки № 3, № 5 та № 6 зразу після пічки опустити в воду до повного охолодження, протерти і зачистити наждачною шкуркою;

– зразок № 4 після нагріву до температури  $T = 840 - 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , витримати **45 хв** і розмістити на повітрі до повного охолодження;

– для зразків № 5 – 6 провести відпущення при різних температурах (після загартування нагріву до температури відпущення за таблицею 8.3, витримати 45 хв кожний при заданій температурі, розмістити на повітрі до повного охолодження і зачистити наждачною шкуркою;

Таблиця 8.3 - Варіанти термообробки сталі Сталь 45

Номер зразка і вид термообробки					
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Без термообробки	Нагрів до $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ + охолодження в мастило	Нагрів до $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ + охолодження в воді (загартування)	нагрів до $850 \text{ }^{\circ}\text{C}$ + повільне охолодження на повітрі (нормалізація)	Загартування в воді + відпущення при $T = 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Загартування в воді + відпущення при $T = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$

4. Заміряти твердість всіх зразків за методом Брінелля, визначити міцність сталі та побудувати гістограму впливу термообробки стали на її твердість і міцність.

5. Зробити висновки.

### 8.4 Зміст звіту

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

1. Короткі теоретичні відомості.

2. Обладнання та матеріали.

3. Методика проведення роботи.

4. Практична частина (результати роботи по п. 8.3, попередньо записав марку матеріалу). Приклад оформлення результатів експерименту наведено в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Результати вимірювання твердості

Номер зразка	№ відбитку	$d_i, \text{мм}$	$d_{cp}, \text{мм}$	НВ, $\text{кг/мм}^2$	НВ, $\text{МПа}$	$\sigma_B,$ $\text{кг/мм}^2$	$\sigma_B,$ $\text{МПа}$
№ 1	1						
	2						
	3						
№ 2	1						
	2						
	3						
№ 3	1						
	2						
	3						
№ 4	1						
	2						
	3						
№ 5	1						
	2						
	3						
№ 6	1						
	2						
	3						

## 5. Висновки.

### 8.5 Захист роботи

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 8.1, конспект лекцій в межах тем, що розглядаються.

2. Вміти виконати перелік робіт по вимірюванню твердості, визначення величини твердості і міцності сталі.

### Рекомендована література

1. Гуляев А.П. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Конспект лекцій.

## 9 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

### МЕХАНІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ БЕТОНУ

**Мета роботи** – отримання навичок проведення механічних випробувань бетону.

#### 9.1 Теоретичні відомості

Відомо велика кількість механічних методів визначення міцності бетону шляхом механічного впливу на поверхню зразка або виробу. Методи визначення міцності бетону поділяють на руйнівні та неруйнівні. На практиці широке розповсюдження для експресного визначення міцності бетону у виробках знайшли неруйнівні методи, основані на взаємозв'язку міцності та інших властивостей бетону. Такими можуть служити (табл. 9.1) відбитки на бетонній поверхні, які характеризують пластичну деформацію при вдавлюванні індентора (штампа), ступінь зчеплення металу (арматури й ін.) з бетоном, зусилля сколювання бетону; величина пружного відскоку; швидкість ультразвукових хвиль і хвиль, викликаних механічним ударом; частота власних коливань тощо.

В залежності від особливостей впливу механічні методів визначення міцності бетону можна поділити на три групи.

До першої групи відносять методи, засновані на визначенні міцності бетону по зусиллю, необхідному для відриву і сколювання шматки бетону з поверхні конструкції або виробу. Найбільш старий метод, це метод-висмикування заздалегідь закріпленої в бетон опори.

Друга група механічних випробувань заснована на вимірі твердості бетону, здійснюється шляхом вдавлювання у його поверхню штампа певної форми, найчастіше кулястої. Вдавлювання штампа роблять ударом, з допомогою пружини або іншими способами. В результаті впливу на поверхні бетону утворюється вм'ятина, розміри якої є показником твердості бетону. При застосуванні кулястого штампа отримують сферичний відбиток. Міцність бетону встановлюють залежно від діаметра відбитка за тарувальною кривою, побудованою за результатами попередніх випробувань. Діаметр відбитка в цьому випадку характеризує твердість бетону. Для отримання найбільш точних результатів вимірювання потрібно, щоб діаметр відбитка був більш  $0,2D$  і менше  $0,6 D$ , де  $D$  - діаметр кульки. Якщо діаметр відбитка більше зазначеної межі, то слід зменшити силу вдавлювання; якщо діаметр відбитків менше вказаної межі, то застосовують кульку меншого діаметра.

Порівняно зручні пружинні молотки, які вдавлюють кульку в бетон за допомогою попередньо стиснутої пружини. При спуску пружини спеціальний бойок вдаряє по бетону. По діаметру відбитка судять про міцності бетону. Спеціально торійована пружина забезпечує сталість сили удару, що підвищує точність випробування. Однак у переносних невеликих за розмірами приладах

важко з допомогою пружини забезпечити значну силу удару, що ускладнює випробування високоміцних бетонів.

До третьої групи відносять прилади, засновані на принципі пружного відскоку. В цих приладах вимірюють висоту пружного бойка, падаючого з постійної висоти. Ударна міцність бетону пов'язана з його міцністю; з підвищенням міцності зростають ударний твердість і характеризує її висота пружного відскоку.

Таблиця 9.1 – Класифікація неруйнівних методів визначення міцності бетону у конструкціях і спорудах

№	Група методів	Характеристика методів
<b>Механічні методи</b>		
1	Методи пластичної деформації	- вдавлення штампа в поверхню бетону і еталону
2	Методи, основані на стрільбі чи вибуху	- метод стрільби - метод забивки стержнів - метод вибуху
3	Випробування на відрив і сколювання	- визначення зчеплення бетону з металом - відділення бетону від бетону шляхом відриву зі сколюванням - відриву розколюванням - сколювання ребра конструкції
4	Випробування шляхом подрібнення бетону	- подрібнення проб бетону - висвердлювання отворів в бетоні
5	Вимірювання пружного відскоку	- визначення висоти відскоку бойка від ударника, притиснутого до бетону
<b>Фізичні методи</b>		
6	Імпульсні методи	Вимірювання швидкості розповсюдження пружних хвиль: - поздовжніх ультразвукових; - поперечних ультразвукових, викликаних імпульсним ударом
7	Резонансні методи	1. Визначення частоти власних коливань: - від згину; - поздовжніх; - від закручення 2. Визначення логарифмічного декременту затухання
8	Електричні методи	Вимірювання відносного електричного опору
9	Радіоізотопні методи	Визначення середньої густини по зміні інтенсивності гама-випромінювання, яке проходить через бетон або розсіяного бетоном

При виборі неруйнівного методу визначення міцності варто враховувати діапазон їх можливого застосування. Ефективність обраних методів в умовах систематичного контролю міцності бетону на заводах залізобетонних виробів залежить також від технологічних факторів (табл. 9.2).

Таблиця 9.2 – Рекомендації з вибору неруйнівних методів залежно від технологічних факторів (за М.Ю. Лещинським)

Причини зміни міцності бетону	Метод оцінки міцності							
	пластичної деформації		пружно-го відскоку	відриву і сколювання	відриву	резонансний	імпульсний	радіоізотопний
	розчинну	бетонну						
Коливання В/Ц	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н
Зміна якості піску	Р	Р	Р	Р	Р	Д	Д	Н
Зміна якості крупного заповнювача	Н	Д	Н	Р	Р	Н	Н	Н
Зміна кількості крупного заповнювача	Н	Д	Д	Р	Р	Н	Н	Н
Застосування хімічних добавок	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н
Перемішування бетонної суміші	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Д
Ущільнення бетону	Н	Н	Н	Д	Д	Р	Р	Р
Зміна віку бетону	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н
Вплив агресивних факторів	Д	Д	Д	Р	Р	Р	Р	Н
Тріщиноутворення	Н	Н	Н	Н	Н	Р	Р	Д

Примітка: Р - рекомендується; Д - допускається; Н - не рекомендується.

Метод пластичних деформацій у даний час набув найбільшого поширення. Він побудований на оцінюванні місцевих деформацій матеріалу, викликаних прикладанням зовнішнього зосередженого навантаження. Суть методу полягає у визначенні міцності матеріалу за його твердістю. Переваги такого методу визначення фізико-механічних властивостей полягають у його простоті, технологічності та достатньо високій достовірності результатів, а недолік — у тому, що досліджуються тільки поверхневі шари матеріалу.

Для цього можна використовувати методи (окрім вище зазначених): визначення твердості за Брінеллем (визначають шляхом утискування сталеві кульки в тіло матеріалу, що досліджується), метод Роквелла (вдавлюється алмазний конус із кутом біля вершини 120°) та метод Віккерса (вдавлюється

алмазна пірамід з двограним кутом біля вершини, рівним  $136^\circ$ ). Дивись лабораторні роботи № 5 і № 8.

На точність визначення міцності бетону неруйнівними методами впливає стан бетону на момент випробування. Із збільшенням вмісту води в порах і капілярах бетону розміри відбитків, отриманих приладами, основаними на методі пластичної деформації, значно збільшуються, зменшується величина пружного відскоку. Швидкість ультразвуку в бетоні при його водонасиченні зростає.

Для заморожених водонасичених зразків бетону характерне зменшення діаметрів відбитків і збільшення пружного відскоку, що пов'язано з підвищенням твердості бетонної поверхні і ростом пружних властивостей бетону при замерзанні води. Швидкість ультразвуку для бетону, замороженого у водонасиченому стані, ще більше зростає внаслідок більшої швидкості поширення ультразвукових хвиль крізь лід, ніж у воді.

При збільшенні міцності бетону ступінь зміни фізико-механічних характеристик при водонасиченні і заморожуванні зменшується.

В деяких випадках представляє інтерес визначення міцності бетону на розтяг. З цієї міцності можна судити про міцності бетону на стиск, так як відомо, що між ними існує орієнтовна залежність.

## **9.2 Устаткування і матеріали**

1. Зразки для досліджень.
2. Твердомір.
3. Мікрометрична лупа.

## **9.3 Методика проведення роботи**

1. Дослідити вплив різних чинників на міцність зразків з бетону та розчинів (марки цементу, концентрації цементу та піску, якості піску, впливу зовнішніх атмосферних умов та агресивних факторів тощо).

2. Для наданих зразків провести вимірювання твердості їх поверхні використовуючи метод Брінелля та результати випробувань занести до таблиці

3. Для кожного зразка робити по 3 відбитка. Діаметр кожного відбитку необхідно вимірювати два рази по двом взаємно перпендикулярним напрямкам з точністю до сотих долей мм (відмінність на повинна бути більше 2 %).

В таблицю до графи “Характеристика зразка” вносити інформацію про умови отримання зразка (приклад, цемент марки ....., концентрація піску в %, концентрація цементу в % тощо). Величину твердості визначати за формулою (8.1) з лабораторної роботи № 8.



Таблиця 9.3 – Результати досліджень

Номер зразка	№ відбитку	Діаметр відбитку $d_i, \text{мм}$	$d_{cp}, \text{мм}$	НВ, $\text{кг/мм}^2$	НВ, МПа	Характеристика зразка
№ 1	1					
	2					
	3					
№ 2	1					
	2					
	3					
№ 3	1					
	2					
	3					
.....	1					
	2					
	3					

4. Побудувати графіки (гістограми) за результатами досліджень.
5. Зробити аналіз отриманих результатів і висновки по роботі.

#### 9.4 Зміст звіту

Звіт про лабораторну роботу повинен містити:

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Обладнання та матеріали.
3. Методика проведення роботи.
4. Експериментальна частина (результати роботи по п. 9.3).
5. Обробка результатів експериментів.
6. Висновки.

#### 9.5 Захист роботи

1. Знати теоретичні відомості, що наведені в п. 9.1.
2. Вміти виконати перелік робіт по п. 9.3.

#### Рекомендована література

1. Конспект лекцій.
2. ГОСТ 17624-87. Бетони. Ультразвуковой метод определения прочности.

3. ГОСТ 24332-88. Кирпич и камни силикатные. Ультразвуковой метод определения прочности на сжатие.
4. ГОСТ 23858-79. Соединения сварные стыковые и тавровые арматуры железобетонных конструкций. Ультразвуковые методы контроля качества. Методы приемки.
5. ГОСТ 23667-85 Контроль неразрушающий. Дефектоскопы ультразвуковые. Методы измерения основных параметров.
6. ГОСТ 17623-87. Бетоны. Радиоизотопный метод определения средней плотности.
7. ГОСТ 17625-83. Конструкции и изделия железобетонные. Радиационный метод определения толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры.
8. ГОСТ 21104-75 Контроль неразрушающий. Феррозондовый метод.
9. ГОСТ 21105-87 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.
10. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
11. ДСТУ Б В.2.6-4-95 Конструкції будинків і споруд. Конструкції залізобетонні. Магнітний метод визначення товщини захисного шару бетону і розташування арматури.
12. Попов Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. – М.: Высш. шк., 1996.– 276 с.