

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

В. В. Холявко, І. А. Владимирський, О. О. Жабинська

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

*Для студентів вищих
навчальних закладів, які навчаються за напрямом
галузі знань 13 – Механічна інженерія
спеціальності 132 – Матеріалознавство
денної та заочної форм навчання*

Видавництво
«Центр учбової літератури»
Київ – 2016

УДК 669.018.2:620.22(075.8)

ББК 34.2я73

X 75

*Гриф надано Вченою радою Інженерно-фізичного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(протокол №05/16 від 30 травня 2016 року)*

*Ухвалено на засіданні кафедри фізики металів ІФФ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
(протокол № 7/16 від 25 травня 2016 року)*

Рецензенти:

Роїк Тетяна Анатоліївна, доктор технічних наук;

Карпець Мирослав Васильович, доктор фізико-математичних наук.

Укладачі:

Холявко Валерія Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент;

Владимирський Ігор Анатолійович, кандидат технічних наук;

Жабинська Олена Олексіївна, бакалавр.

Відповідальний редактор:

Балахонова Наталія Олександрівна, кандидат фізико-математичних наук.

- Холявко В. В.** Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів [текст]:
X 75 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів галузі знань
13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної
форм навчання / В. В. Холявко, І. А. Владимирський, О. О. Жабинська. – Київ:
Центр учбової літератури, 2016. – 100 с.

ISBN 978-617-673-518-2

Методичні вказівки містять шаблони протоколів та покрокові інструкції до виконання лабораторних робіт. Наведені запитання для формулювання висновків та схема їх написання, представлена у вступній частині, дозволять студентам повноцінно опанувати компетентність з аналізу та узагальнення експериментальних даних.

Дисципліна «Фізичні методи дослідження матеріалів» була модернізована в рамках TEMPUS проекту «Модернізація навчальних планів дворівневої програми підготовки (бакалаври/магістри) з інженерного матеріалознавства на основі компетентнісного підходу та найкращого досвіду з впровадження положень Болонського процесу («MMATENG»)).

Видання може бути корисним при вивченні будь-яких матеріалознавчих спеціальностей.

УДК 669.018.2:620.22(075.8)

ББК 34.2я73

ISBN 978-617-673-518-2

© Холявко В. В., Владимирський І. А., Жабинська О. О., 2016.
© Видавництво «Центр учбової літератури», 2016.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Лабораторна робота № 1	7
Лабораторна робота № 2	15
Лабораторна робота № 3	23
Лабораторна робота № 4	36
Лабораторна робота № 5	47
Лабораторна робота № 6	59
Лабораторна робота № 7	66
Лабораторна робота № 8	74
Лабораторна робота № 9	83
ДОДАТКИ	88

ВСТУП

Дані методичні рекомендації складаються з циклу лабораторних робіт, присвячених експериментальним методам визначення основних фізичних характеристик матеріалів. Ці роботи входять до дисципліни „Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів” й можуть бути використані студентами всіх матеріалознавчих спеціальностей як денної, так і заочної форм навчання.

Для допуску до проведення лабораторної роботи студенти повинні протягом самостійної підготовки до роботи опанувати фізичні основи відповідної методики, які викладені у навчальному посібнику з дисципліни. Посилання на сторінки, які потрібно прочитати наведено у розділі «Теоретичні відомості» до кожної роботи. Ступінь готовності студента до виконання роботи оцінюється за результатами експрес-тесту до якого включені питання стосовно інформації, необхідної для свідомого виконання відповідних досліджень. Студент без протоколу лабораторної роботи до складання тесту не допускається.

В даних методичних вказівках наведені підготовлені бланки протоколів лабораторних робіт. Детальний опис експериментальних установок з наведеними фотографіями допоможе ефективно опанувати принцип їх роботи та алгоритм проведення випробувань. Покрокова інструкція щодо обробки експериментальних даних сприятиме отриманню достовірних результатів.

Студенти до початку роботи повинні ознайомитися з теоретичними відомостями та роздрукувати протокол. Протягом виконання експерименту всі дані заносяться у відповідні графи таблиць протоколу. Після закінчення експерименту студенти самостійно виконують необхідні розрахунки, заповнюють всі таблиці, визначають рівень похибок розрахованих значень, будують графічні залежності (вручну або з застосуванням відповідного

програмного забезпечення) та формулюють й охайно записують висновки. Якщо студент не зміг виконати вчасно експериментальну частину роботи, він не допускається до захисту до моменту відпрацювання лабораторної роботи. Захист лабораторної роботи проводиться у визначений викладачем час.

Для правильного формулювання висновків необхідно скористатися наступними рекомендаціями:

- висновки пишуться по пунктах;
- скорочення слів у висновках не допускається;
- кожен пункт повинен містити не лише інформацію щодо встановленого факту, а й його аналіз за наступною схемою:



- перший висновок після кожної роботи повинен вказувати на те чи опанована відповідна методика досліджень та в чому це полягає. Це може бути сформульовано, наприклад, таким чином:

«1. Протягом виконання лабораторної роботи була опанована методика (назва), що дозволило отримати достовірні результати стосовно рівня (яких саме) властивостей (вказати яких саме матеріалів)»

«1. При виконанні лабораторної роботи була опанована методика експериментального визначення (зазначити яких параметрів), що дозволило з незначними похибками (при можливості вказати похибку) встановити їх рівень для (вказати яких саме матеріалів)»

Протягом перебування в лабораторії та виконання лабораторних робіт необхідно дотримуватися правил техніки безпеки, наведених у додатку А.

ПРОТОКОЛ

Лабораторної роботи № 1

Студент _____	група _____
Допуск _____	Дата _____
	Підпис _____
	викладача
Захищено _____	Дата _____
з оцінкою	Підпис _____
	викладача

Тема роботи:

«ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ МЕТАЛОГРАФІЧНОГО МІКРОСКОПА»

Мета: ознайомлення з конструкцією, оптичною схемою та принципом роботи металографічного мікроскопа, набуття практичного досвіду його підготовки до роботи і визначення основних параметрів приладу.

1 Теоретичні відомості

Фізичні принципи, що лежать в основі роботи металографічного мікроскопа, наведено у навчальному посібнику [1] в темі №2 «Оптична металографія» на сторінках 23-44.

2 Устаткування, прилади і матеріали

Зовнішній вигляд та принципову схему металографічного мікроскопа МИМ-7 наведено на рисунку 1.1 та на рисунку 2.4 (з детальним описом) навчального посібника [1]. Аналогічну інформацію по мікроскопу ММР-2Р наведено в додатку А навчального посібника [1].

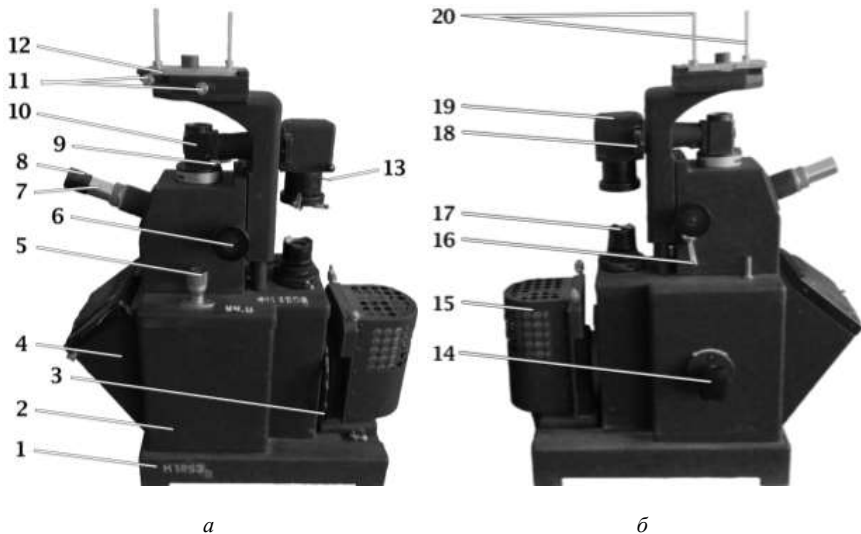


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд металографічного мікроскопа МИМ-7: *а* – вид справа, *б* – вид зліва: **1** – основа, **2** – корпус, **3** – світлофільтри, **4** – фотокамера, **5** – мікрометричний гвинт, **6** – макрометричний гвинт, **7** – візуальний тубус, **8** – окуляр, **9** – рукоятка вмикання діафрагми темного поля, **10** – ілюмінаторний тубус, **11** – гвинти переміщення предметного столика, **12** – предметний столик, **13** – польова діафрагма, **14** – рукоятка для повороту барабану з трьома фотоокулярами, **15** – освітлювач в кожусі, **16** – стопорний пристрій для макровинта, **17** – апертурна діафрагма, **18** – рамка з лінзою для роботи в світлому і темному полях, **19** – кожух з пентапризмою, **20** – тримачі зразка

Будь-який металографічний мікроскоп складається з трьох систем:

- оптичної (до неї входять об'єктив, окуляр та деякі допоміжні елементи);
- освітлювальної (до неї входять джерело світла, серія лінз, світлофільтрів, конденсор, польова і апертурна діафрагми);
- механічної (до неї входять основа, корпус, тубус, револьверна головка для швидкої зміни об'єктивів, макрометричний та мікрометричний гвинти, предметний столик з фіксаторами для зразків).

Загальне збільшення об'єкта, що досягається в металографічному мікроскопі, дорівнює добутку збільшень об'єктива і окуляра.

3 Хід виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з конструкцією та принципом роботи металографічних мікроскопів МИМ-7 та ММР-2Р.

2. Визначити роздільну здатність мікроскопа для наявних об'єктів та світлових фільтрів за формулою (1.1) (параметри оптики для розрахунків надає викладач):

$$\delta_m = 0,61 \lambda / A, \quad (1.1)$$

де δ_m – роздільна здатність мікроскопа; λ – довжина хвилі світла (при застосуванні немонохроматичного світла це зазвичай найменша довжина хвилі, що характеризує його спектр, або довжина хвилі, інтенсивність якої максимальна); A – числова апертура об'єктива.

Результати розрахунків занести до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Роздільна здатність мікроскопа

№	Апертура об'єктива	Колір світла	Довжина хвилі, нм	Роздільна здатність, нм
1	0,17			
2	0,17			
3	0,37			
4	0,37			
5	0,65			
6	0,65			

3. Підібрати необхідні об'єкти та окуляр (величину мінімального розміру об'єкта, який потрібно розгледіти за допомогою мікроскопа, задає викладач). Для цього послідовно виконуються наступні розрахунки:

Розрахувати доцільне збільшення мікроскопа за формулою (1.2):

$$N_\delta = \delta_{ока} / \delta, \quad (1.2)$$

де $\delta_{ока}$ – границя роздільної здатності ока людини, δ – мінімальний розмір об'єкта, який потрібно розгледіти за допомогою мікроскопа. Зазвичай доцільне збільшення знаходиться в інтервалі $N_{\delta} = (500 \div 1000) A$.

Знайти значення числової апертури об'єктива за формулою (1.3):

$$N_{\delta}/1000 \leq A \leq N_{\delta}/500 \quad (1.3)$$

та користуючись даними з таблиці 1.2, обрати з наявних той, числова апертура якого задовольняє умовам.

Таблиця 1.2 – Характеристики ахроматичних об'єктивів

Фокусна відстань, F , мм	Числова апертура, A	Збільшення	Робоча відстань, мм
23,2	0,17	8,6	6,2
8,2	0,37	24,4	2,6
6,3	0,65	31,5	0,82
4,3	0,95	46,5	0,16

Знаючи збільшення об'єктива ($N_{об}$), знайти необхідне збільшення окуляра ($N_{ок}$) за формулою (1.4):

$$N_{ок} = N_{\delta}/N_{об} \quad (1.4)$$

Користуючись даними таблиці 1.3 підібрати необхідний окуляр.

Таблиця 1.3 – Характеристики типових окулярів

Тип окуляра	Збільшення	Фокусна відстань, мм	Лінійне поле зору, мм
Гюйгенса	7×	36	18
Гюйгенса	10×	25	14
Гюйгенса з перехрестям	10×	25	14
Ортоскопічний	12,5×	20	16
Компенсаційний	15×	16,6	11
Компенсаційний	25×	12,6	9

Результати розрахунків занести до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Доцільне збільшення мікроскопа

№	Параметри	Значення					
1	Роздільна здатність ока, мкм	200		200		200	
2	Роздільна здатність мікроскопа, мкм						
3	Доцільне збільшення мікроскопа						
4	Апертура						
5	Апертура наявного об'єктива						
6	Збільшення наявного об'єктива						
7	Розраховане збільшення окуляра						
8	Збільшення наявного окуляра						

4. Сфокусувати зображення, налаштувати освітлення, польову і апертурну діафрагми.

5. Дослідити запропонований викладачем мікрошліф в світлому та темному полі.

6. Визначити ціну поділки шкали окуляр-мікрометра для трьох запропонованих викладачем збільшень мікроскопа за формулою (1.5) і записати результати розрахунків до таблиці 1.5.

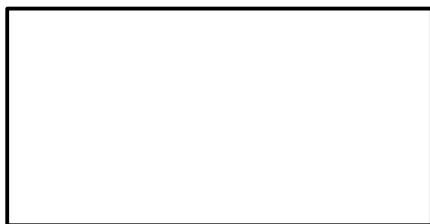
$$E = 0,01 \cdot L/n, \quad (1.5)$$

де L – відрізок шкали окуляр-мікрометра; n – кількість поділок шкали окуляр-мікрометра,

7. Визначити розмір структурного елементу матеріалу, запропонованого викладачем. Зобразити обрану структурну складову в протоколі. Всі результати розрахунків занести до таблиці 1.6.

Таблиця 1.5 – Ціна поділки шкали окуляр-мікрометра

№	Збільшення об'єктива	Збільшення окуляра	Збільшення мікроскопа	Кількість поділок на шкалі об'єкт-мікрометра, L , од.	Кількість поділок на шкалі окуляр-мікрометра, n , од.	Ціна поділки окуляр-мікрометра, мм
1						
2						
3						



Структурний елемент досліджуваного матеріалу

Таблиця 1.6 – Розміри структурного елемента матеріалу

Збільшення мікроскопа	Ціна поділки окуляр-мікрометра, мм	Розмір структурного елемента, D_1		Розмір структурного елемента, D_2		Середній розмір структурного елемента D_{cp} , мм
		од.	мм	од.	мм	

8. Зробити висновки щодо отриманих результатів.

4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися стандартних правил безпеки при роботі з обладнанням, наведених у додатку А.

5 Перелік літератури

5.1 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 23-44.

2. *Геллер Ю.А.* Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с. – С. 23-46, 58-67.

5.2 Додаткова

1. *Белоцкий А.В.* Методические указания к лабораторным работам по курсу «Физические методы исследования металлов». Часть 1. / Сост. А.В. Белоцкий, А.Ф. Богданова, В.Г. Тиняев. - К.: КПИ, 1978. – 72 с. – С. 3- 16.

2. *Богомолова Н.А.* Практическая металлография: Учебник для технических училищ / Н.А. Богомолова. – М.: Высш. Школа, 1978.

3. *Лившиц Б.Г.* Металлография / Б.Г. Лившиц. – М.: Металлургия, 1990. – 334 с.

6 Формулювання висновків

Висновки щодо встановленого рівня характеристик мікроскопа та матеріалу повинні давати відповіді на питання:

1. Чи опановані методики роботи з металографічним мікроскопом та в чому це полягає.

2. Як змінюється доцільне збільшення мікроскопа при зменшенні розмірів найменшого елементу мікроструктури, який потрібно дослідити.

3. Як змінюється роздільна здатність мікроскопа зі зменшенням довжини хвилі світла, що використовується.

4. Як змінюється роздільна здатність мікроскопа зі збільшенням числової апертури.

5. Як змінюється ціна поділки шкали окуляр-мікрометра при зростанні збільшення мікроскопа.

6. Яка величина досліджуваного елемента мікроструктури матеріалу.

Висновки:

ПРОТОКОЛ
Лабораторної роботи № 2

Студент _____	група _____
Допуск _____ Дата _____	Підпис _____ викладача
Захищено _____ Дата _____	Підпис _____ викладача
з оцінкою _____	

Тема роботи:

**«ПРОБОПІДГОТОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МАКРО- ТА
МІКРОСТРУКТУРИ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
МЕТАЛОГРАФІЧНОГО МІКРОСКОПА»**

Мета: опанування основних методик пробопідготовки для дослідження макро- та мікроструктури матеріалів за допомогою металографічного мікроскопа, ознайомлення з методиками виявлення мікроструктури, набуття практичного досвіду підготовки поверхні шліфа до металографічних досліджень.

1 Теоретичні відомості

Фізичні принципи, що лежать в основі фізичних та хімічних методик пробопідготовки, наведено у навчальному посібнику [1] в темі №1 «Пробопідготовка для дослідження макро- та мікроструктури матеріалів за допомогою металографічного мікроскопа» на сторінках 6-22.

2 Устаткування, прилади і матеріали

При виконанні лабораторної роботи використовується наступне устаткування: шліфувальний верстат, абразивний папір різного ступеню

зернистості, фетр, алмазна паста, паста ГОИ, металографічний мікроскоп МИМ-7, протравлювачі.

Зразки для роботи надаються кожному студенту викладачем або лаборантом.

3 Хід виконання лабораторної роботи

1. Отримати зразок матеріалу для досліджень. Викладач чи лаборант вказує марку сталі чи назву сплаву.

2. Провести шліфування однієї з поверхонь зразка. Параметри застосованих матеріалів записати до таблиці 2.1 (шліфування вручну чи на верстаті, параметри шліфувального паперу).

3. Промити та висушити робочу поверхню шліфа.

4. Дослідити робочу поверхню шліфа за допомогою металографічного мікроскопа при збільшеннях $100\times$ та $300\times$. Зобразити побачене та описати макроструктуру в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Шліфування робочої поверхні зразка

Матеріал	Тип шліфування	Номер шліфувального паперу

5. Підібрати реактив для електролітичного полірування. Параметри полірування записати до таблиці 2.3.

6. Провести механічне чи хіміко-механічне полірування попередньо відшліфованої поверхні зразка. Вид та засоби полірування записати до таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 – Макроструктура досліджуваного матеріалу після шліфування

Матеріал	Збільшення 100×	Збільшення 300×
Схема поверхні		
Опис		

Таблиця 2.3 – Полірування робочої поверхні зразка

Матеріал	Тип полірування	Полірувальний засіб

7. Промити спиртом та висушити робочу поверхню шліфа.

8. Дослідити робочу поверхню шліфа за допомогою металографічного мікроскопа при збільшеннях 100× та 300×. Описати побачене в таблиці 2.4.

9. У залежності від матеріалу зразка підібрати реактив та методику протравлювання.

10. Протравити мікрошліф. Контролювати якість поверхні шліфа за допомогою металографічного мікроскопа при збільшенні 300×. Параметри протравлювання занести до таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 – Макроструктура досліджуваного матеріалу після полірування

Матеріал	Збільшення 100×	Збільшення 300×
Схема поверхні		
Опис		

Таблиця 2.5 – Протравлювання робочої поверхні зразка

Матеріал	Тип протравлювання	Параметри протравлювання		
		травник	тривалість	температура

11. Промити та висушити мікрошліф.

12. Дослідити робочу поверхню мікрошліфа за допомогою металографічного мікроскопа при збільшеннях 100х та 300х. Описати виявлену мікроструктуру в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Мікроструктура робочої поверхні зразка після протравлювання

Матеріал	Збільшення 100×	Збільшення 300×
Схема поверхні		
Опис		

13. Зробити висновки щодо отриманих результатів.

4 Заходи безпеки

При роботі на шліфувальних верстатах основну небезпеку представляє розрив шліфувального круга. Крім того, можливе ураження шкіри і очей його дрібними розжареними відлітаючими частинками, а також захоплення одягу і волосся частинами верстата, що обертаються.

Під час роботи на шліфувальному крузі необхідно стояти збоку, а не навпроти круга. При сухому шліфуванні необхідно надягати захисні

окуляри. Слід оберегати шліфувальний круг від ударів. Контакт з оброблюваною деталлю повинен бути плавним, без зайвого натиску. За наявності вібрації шліфувального круга працювати на ньому не дозволяється. При зупинці верстата не можна гальмувати шліфувальний круг руками. Не допускається також гальмування круга, що обертається, натиском на нього будь-яким предметом.

Основна небезпека при протравлюванні – контакт з їдкими речовинами. Протравлювання завжди повинно проводитися в добре провітрюваному приміщенні. Ідеально підходить для цього витяжна шафа. Вікно шафи опускається вниз, щоб відгородити місце проведення протравлювання і не допустити проникнення випаровувань в решту приміщення. За відсутності витяжної шафи необхідно користуватися респіратором з відповідними фільтрами.

При роботі з кислотами необхідне використання гумових рукавичок і гумового фартуху. Захищайте очі водонепроникними окулярами і завжди тримайте наготові харчову соду, щоб в разі необхідності нейтралізувати пролиту кислоту. Кислоти і інші травильні розчини повинні зберігатися в спеціальних ємностях, призначених для лабораторного використання.

При розбавленні концентрованих кислот слід кислоту наливати у воду, а не навпаки. При роботі з їдкими речовинами і їх розчинами забороняється засмоктувати рідину ротом через піпетку.

Необхідно вміти надавати першу допомогу при нещасному випадку: в першу чергу – промити уражене місце 1% розчином питної соди (при обливанні кислотою) або 1% розчином лимонної кислоти (при контакті з лугом), а потім – великою кількістю води.

При проведенні електролітичного полірування чи протравлення необхідно виконувати стандартні правила електробезпеки для унеможливлення ураження електричним струмом.

5 Перелік літератури

5.1 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 6-22.

2. *Геллер Ю.А.* Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с. – С. 23-36, 58-67.

5.2 Додаткова

1. *Тушинский Л.И.* Методы исследования материалов / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.Н. Синдеев. – М.: Мир, 2004. – 380 с.

2. *Лахтин Ю.М.* Материаловедение / Ю.М. Лахтин. – Москва: Металлургия, 1993. – 448 с.

3. *Фетисов Г.П.* Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман и др. – М.: Высшая школа, 2001. – 622 с.

4. *Евстратова И.И.* Материаловедение / И.И. Евстратова и др. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 268 с.

5. *Ильина Л.В.* Материалы, применяемые в машиностроении: справочное пособие / Л.В. Ильина, Л.Н. Курдюмова. – Орел: ОрелГТУ, 2007.

6. *Карпов Я.С.* Авиационное материаловедение. Часть 1. Металлы и сплавы / Я.С. Карпов, П.П. Лепихин, В.В. Остапчук, Н.Д. Сазоненко, Н.И. Семишов. – Учеб. пособие по лаб. практикуму. – Харьков: НАУ «ХАИ», 2004. – 127 с.

ПРОТОКОЛ
Лабораторної роботи № 3

Студент _____	група _____
Допуск _____	Дата _____
	Підпис _____
	викладача
Захищено _____	Дата _____
з оцінкою	Підпис _____
	викладача

Тема роботи:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЯКІСНИХ ТА
КІЛЬКІСНИХ МЕТОДИК МЕТАЛОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ»**

Мета: опанування основних методик якісної і кількісної металографії, отримання практичного досвіду розрахунків об'ємної частки структурних складових, розміру зерен, їх кількості в одиниці об'єму та розподілу за розмірами.

1 Теоретичні відомості

Фізичні принципи, що лежать в основі роботи металографічного мікроскопа, а також фізичні принципи металографічного аналізу матеріалів наведено у навчальному посібнику [1] в темі №2 «Оптична металографія» на сторінках 44-59.

2 Устаткування, прилади і матеріали

Для виконання лабораторної роботи використовують металографічний мікроскоп. Збільшення обирають таким чином, щоб в полі зору спостерігалось не менше 30-50 зерен. В деяких методиках можливе застосування окуляр-мікрометра для безпосереднього підрахунку параметрів зерен. Для інших методик зображення мікроструктури

переводять на екран або роблять фотографію. При визначенні збільшення структури, яка зображена на фотографії, окрім збільшення мікроскопа необхідне врахування укрупнення, що створюється фотоапаратом.

Зразки для роботи надаються кожному студенту викладачем або лаборантом.

3 Хід виконання лабораторної роботи

1. Провести бальну оцінку величини зерна, виконуючи наступні операції:

1) встановити об'єктив і окуляр, що забезпечують збільшення мікроскопа 100×. Якщо зерно є дуже дрібним, можливе використання збільшення, що відрізняється від стандартного. В цьому випадку дійсний бал зерна перераховується за допомогою таблиць (наприклад, таблиця 2.5 в [1]), або формули (3.1):

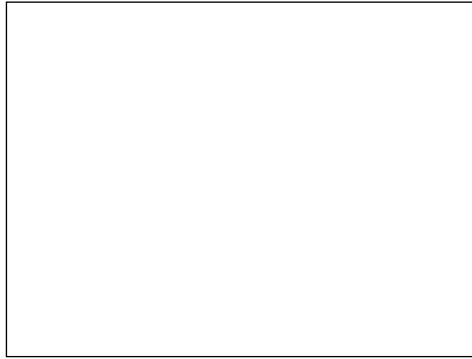
$$N = N_g \pm K, \quad (3.1)$$

де N_g – номер зерна за стандартною шкалою при збільшенні g ; K – поправочний коефіцієнт, який розраховується за формулою:

$$K = 6,64 \lg(g/100) \quad (3.2)$$

2) дослідити структуру в багатьох полях зору і обрати найбільш характерні ділянки шліфа;

3) досліджувану структуру порівняти з еталонною шкалою (дод. Б) і обрати найбільш близьку за розміром зерна фотографію. Вказаний на цій фотографії бал зерна приймають за бал зерна досліджуваної структури. Якщо бал зерна в досліджуваному зразку знаходиться між цілими величинами, наведеними в таблиці, дозволяється використовувати проміжні величини з кроком 0,5. Фотографію наданої структури вклеїти в протокол. Всі дані занести до таблиці 3.1.



Таблиця 3.1 – Результати проведення бальної оцінки розміру зерна

Збільшення мікроскопа, або фотографії, g	Бал за стандартною шкалою при збільшенні g , Ng	Поправочний коефіцієнт, K	Бал зерна, N

2. На тому ж зразку, на якому визначали номер зерна, провести розрахунок середнього розміру зерен за методикою Джефріса. Для цього необхідно перевести зображення на екран мікроскопа і підібрати зручне для розрахунків збільшення (можливе використання фотографії мікроструктури). Послідовність операцій наступна:

- 1) підрахувати кількість зерен, що повністю знаходяться в обраному прямокутнику чи на фотографії – p ;
- 2) підрахувати кількість зерен, що перетинаються стороною прямокутника – q ;
- 3) розрахувати загальну кількість зерен n за формулою (3.3):

$$n = p + \frac{1}{2}q + 1, \quad (3.3)$$

де p – кількість зерен, що повністю знаходяться в прямокутнику; q – кількість зерен, що перетинаються стороною прямокутника (в середньому можна вважати, що в ньому знаходиться половина зерна).

4) розрахувати середню площу зерна A за формулою (3.4):

$$A = \frac{F}{g^2 n}, \quad (3.4)$$

де F – прямокутник відомої площі на зображенні досліджуваної структури.

5) результати занести до таблиці 3.2. Під таблицею записати величини A і d та їх стандартні відхилення, розраховані за методикою наведеною у додатку В та формулою (3.5):

$$X = \bar{X} \pm t\sigma_{\bar{X}} \quad (3.5)$$

Таблиця 3.2 – Результати визначення середнього розміру зерен за методикою Джефріса

Площа на екрані мікроскопа або на фотографії, F , мм ²	Збільшення мікроскопа (фото), G	Кількість зерен в полі зору			Середня площа зерна в полі зору, мм ²		Бал зерна	
		«цілих», p	«половин-частих», q	разом, n	За формою (3.4)	За табл. 3.3	За табл. 3.1	За табл. 3.3

Середня площа зерна $A = \underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}$

Середній діаметр $d = \underline{\hspace{1cm}} \pm \underline{\hspace{1cm}}$

Для вимірів в даній лабораторній роботі різниця $X_i - \bar{X}$ складає 0,5 мм/г, кількість вимірів – 10. Значення, отримані експериментально, порівняти з даними таблиці 3.1 і таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики структури зерна

Бал зерен	Площа зерна, мм ²			Середня кількість зерен в 1 мм ³	Середній діаметр зерен за розрахунком, мм	Середній умовний діаметр зерна, мм
	Найменша	Середня	Найбільша			
-3	0,64	1,024	1,28	1	1,00	0,875
-2	0,32	0,512	0,64	2,7	0,694	0,65
-1	0,16	0,256	0,32	8	0,5	0,444
0	0,08	0,128	0,16	21	0,352	0,313
1	0,04	0,064	0,08	64	0,250	0,222
2	0,02	0,032	0,04	179	0,177	0,167
3	0,01	0,016	0,02	572	0,125	0,111
4	0,005	0,008	0,01	1446	0,088	0,0788
5	0,0025	0,004	0,005	4096	0,06	0,0553
6	0,00125	0,002	0,0025	11417	0,041	0,0391
7	0,000625	0,001	0,00125	32768	0,031	0,0267
8	0,00312	0,0005	0,000625	92160	0,022	0,0196
9	0,000156	0,00025	0,000312	262144	0,015	0,0138
10	0,000078	0,000125	0,000156	737380	0,012	0,0099
11	0,000039	0,000062	0,000078	2097152	0,0079	0,0069
12	0,000019	0,000031	0,000039	5930308	0,0056	0,0049
13	0,000010	0,000016	0,000019	16777216	0,0039	0,0032
14	0,000005	0,000008	0,000010	47448064	0,0027	0,0023

3. Визначити середній умовний діаметр зерна, для чого спочатку необхідно переконатися, що структура є рівновісною. Для цього вимірюють діаметри d декількох зерен в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Структура вважається рівновісною, якщо різниця діаметрів не перевищує 2÷5 %. Послідовність операцій наступна:

1) визначити необхідну довжину січних. Довжину січних обирають так, щоб кожна з них перетинала не менше 10 зерен при збільшенні, за якого на досліджуваній поверхні налічується не менше 50 зерен;

2) на фотографію наносять 4 січних однакової довжини в напрямках під кутом 45° одна до одної. Початок і кінець січних розташовують в полі зерен.

Якщо присутні зерна різних розмірів, то для січних необхідно обирати місця з приблизно однаковими розмірами зерен. Середні умовні діаметри в такому випадку визначаються окремо для зерен кожного розміру;

3) підраховують кількість перетинів границь зерен кожною січною Σn ;

4) розраховують істинну сумарну довжину січних ΣL ;

5) визначають середній умовний діаметр зерен за формулою (3.6):

$$\bar{d}_{\text{ум}} = \frac{\Sigma L}{\Sigma n} \quad (3.6)$$

6) результати розрахунків записують до таблиці 3.4. Надалі проводиться порівняння з даними таблиць 3.1 та 3.3.

Таблиця 3.4 – Результати визначення середнього умовного діаметру зерна

Довжина січної на фотографії, l , мм	Збільшення мікроскопа (фото), g	Сумарна істинна довжина січних, ΣL , мм	Кількість перетинів границь зерен					Середній умовний діаметр зерна, мм		Бал зерна	
			n_1 , од.	n_2 , од.	n_3 , од.	n_4 , од.	Сума	За ф-лою (3.6)	За табл. 3.3	За табл. 3.1	За табл. 3.3

Середня площа зерна $A = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$

Середній умовний діаметр $d = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$

4. Визначити кількість зерен в 1 мм³. Спочатку визначають напрям орієнтації зерен, після чого послідовність операцій наступна:

- 1) нанести три січні: паралельно, перпендикулярно і під кутом 45° до осі орієнтації зерен;
- 2) підрахувати кількість зерен, що перетинаються кожною січною;
- 3) розрахувати кількість перетинів на 1 мм довжини січної;
- 4) розрахувати кількість зерен в 1 мм³ за формулою (3.7):

$$n = 0,7 \times n_1 \times n_2 \times n_3, \quad (3.7)$$

де 0,7 – коефіцієнт, що враховує нерівноосність зерен; n_1 , n_2 , n_3 – кількість зерен, що перетинають січні на 1 мм їх довжини.

5) за допомогою таблиці 3.3 за розрахованою кількістю зерен n визначити середню величину зерна і його бал;

6) результати занести до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати визначення кількості зерен в 1 мм³

Довжина січної на фото-графії, l , мм	Збільшення мікроскопа (фото-графії), g	Істинна довжина січної, L , мм	Кількість перетинів зерен січною			Кількість зерен в 1 мм ³ , n , од	Середній діаметр зерна, мм	Бал зерна	
			n_1 , од.	n_2 , од.	n_3 , од.			За табл. 3.3	За табл. 3.1
			Кількість перетинів зерен на 1 мм січної						
			n_1 , од.	n_2 , од.	n_3 , од.				

5. Визначити об'ємну частку фази за методикою Глаголева. Спочатку необхідно обрати фазу для дослідження (світлу або темну). Для

виконання необхідних розрахунків слід накласти на структуру зображення сітку ліній. Відстань між лініями визначають з міркувань мінімальної достатності (як правило, це крок в 5 мм за наявності близько 30-80 зерен в полі зору). Далі послідовність операцій наступна:

1) розрахувати загальну кількість перехресть (вузлів) сітки, враховуючи краї фотографії;

2) підрахувати кількість перехресть, що потрапили на зерна досліджуваної фази. Вузли, що повністю потрапили на обрану фазу рахують окремо від тих, що опинилися на границі фаз;

3) визначити об'ємну долю фази за формулою (3.8):

$$V_{Vi} = A_{Ai} = \frac{n_i}{n}, \quad (3.8)$$

де A_{Ai} – площа, яку займає на шліфі структурна складова; n – загальна кількість точок; n_i – кількість точок, які потрапили на i -ту структурну складову.

4) результати занести до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати визначення об'ємної частки фази за методикою Глаголева

Досліджувана фаза	Загальна кількість перехресть сітки, n , од.	Кількість перехресть, що потрапили на фазу, n_i з, од.	Кількість перехресть, що потрапили на границю фази, $n_{i,з}$, од.	Об'ємна частка фази в полі зору, %

6. Побудова розподілу зерен за розмірами. При побудові графічної залежності розподілу зерен за розмірами використовують всі січні, що були нанесені на фотографію у попередніх методиках. Кількість досліджуваних зерен повинна бути не менше 30, тому за необхідності, окрім вже нанесених січних, можна використовувати лінії з сітки Глаголева. Необхідно виконати наступні кроки:

1) послідовно виміряти довжини хорд l_i , утворених перетином кожної січної з границями зерен, і занести до таблиці 3.7. Найбільшу довжину підкреслити;

Таблиця 3.7 – Результати визначення розподілу зерен за розмірами за методикою Спектора

Довжини хорд							
Крок розбиття, H	Групи		Кількість хорд у кожній групі, P_i	Щільність числа хорд, P_{Li}	Число зерен в розмірній групі, N_{Vi}	Кількість зерен в 1 мм ³	
	Границі	Реальні розміри, l_i , мм				За ф-лою (3.12)	За ф-лою (3.7)
	0- H						
	H -2 H						
	2 H -3 H						
	3 H -4 H						
	4 H -5 H						
	5 H -6 H						
	7 H - l_{\max}						

2) розбити хорди на розмірні групи з кроком H , який розраховується за формулою (3.9):

$$H = \frac{l_{\max}}{K}, \quad (3.9)$$

де l_{\max} – найбільша довжина хорди; K – число груп розбиття.

Кількість груп розбиття дорівнює 7 ($K = 7$);

3) до першої групи віднести всі хорди завдовжки від 0 до H , до другої – завдовжки від H до $2H$, до i -тої групи – хорди завдовжки від $H_{(i-1)}$ до H_i . До останньої, K -тої групи, відносять хорди завдовжки від $H_{(K-1)}$ до H_K , тобто до l_{max} ;

4) визначити число хорд в кожній розмірній групі P_i ;

5) розрахувати щільність числа хорд за формулою (3.10):

$$P_{Hi} = P_i / L, \quad (3.10)$$

де P_i – кількість хорд в i -тій розмірній групі; L – сумарна істинна довжина всіх січних.

6) розрахувати за формулою (3.11) число зерен в одиниці об'єму N_{Vi} , які відносяться окремо до кожної розмірної групи (не забути розділити H на збільшення фото):

$$N_{Vi} = \frac{4}{\pi H^2} \left(\frac{P_{Hi}}{2i-1} - \frac{P_{Hi+1}}{2i+1} \right) \quad (3.11)$$

7) розрахувати загальне число зерен в одиниці об'єму за формулою (3.12):

$$N_v = \sum_{i=1}^K N_{Vi} \quad (3.12)$$

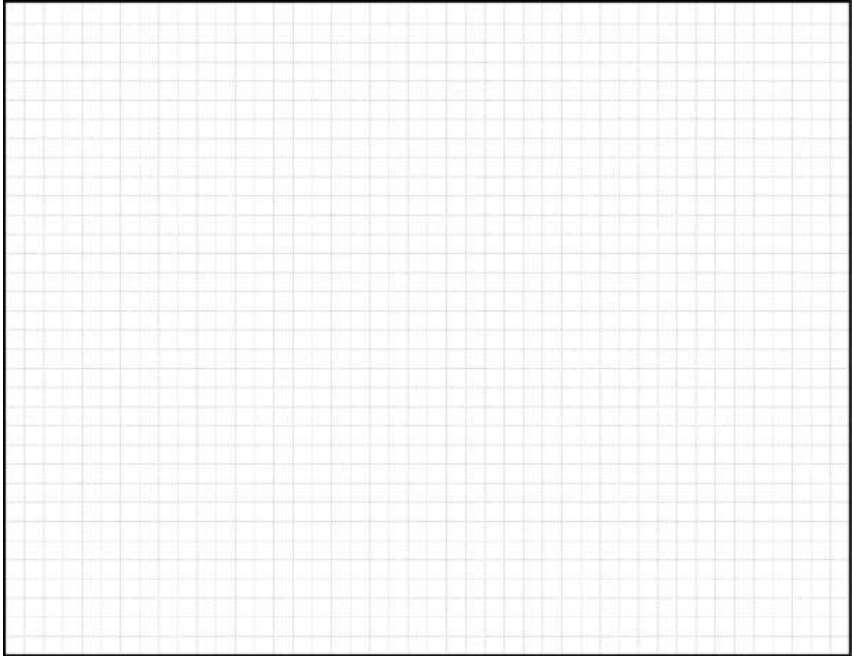
8) всі дані занести до таблиці 3.7;

9) побудувати гістограму розподілу зерен за розмірами;

10) проаналізувати форму гістограми, визначивши кількість максимумів та найпоширеніший розмір зерна.

7. Зробити висновки щодо отриманих результатів.

Розподіл зерен за розмірами



4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися стандартних правил безпеки при роботі з обладнанням, наведених у додатку А.

5 Перелік літератури

5.1 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / *В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська.* – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 44-59.

2. Геллер Ю.А. Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с. – С. 37-46.

5.2 Додаткова

1. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1978. – 272с.

2. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография / С.А. Салтыков. – М.: Металлургия, 1976. – 274 с.

3. Богомолова Н.А. Практическая металлография: Учебник для технических училищ / Н.А. Богомолова. – М.: Высш. Школа, 1978.

4. Васильев Д.М. Физическая кристаллография: Учебное пособие для вузов / Д.М. Васильев. – М.: Металлургия, 1972. – 279 с.

5. Лившиц Б.Г. Металлография / Б.Г. Лившиц. – М.: Металлургия, 1990. – 334 с.

6. Франценюк И.В. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов / И.В. Франценюк, Л.И. Франценюк. – М.: Академкнига. – 2004. – 192 с.

6 Формулювання висновків

Висновки до лабораторної роботи повинні давати відповіді на питання:

1. Чи опановані методики металографічного аналізу та в чому це полягає.

2. Чи співпадають параметри структури, визначені на основі бальної оцінки зерна та за іншими методиками. Якщо ні, то чому?

3. Чи співпав діаметр зерен, розрахований за методиками Джефріса та чотирьох січних. Що спричинило відмінність визначених параметрів?

4. Чи співпадає діаметр зерен, визначений за методиками трьох та чотирьох січних? Про що це свідчить?

ПРОТОКОЛ
Лабораторної роботи № 4

Студент _____	група _____
Допуск _____	Дата _____
	Підпис _____
	викладача
Захищено _____	Дата _____
з оцінкою	Підпис _____
	викладача

Тема роботи:

**«ДЮРОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ЗА
МЕТОДИКАМИ БРІНЕЛЯ, РОКВЕЛЛА ТА ВІККЕРСА»**

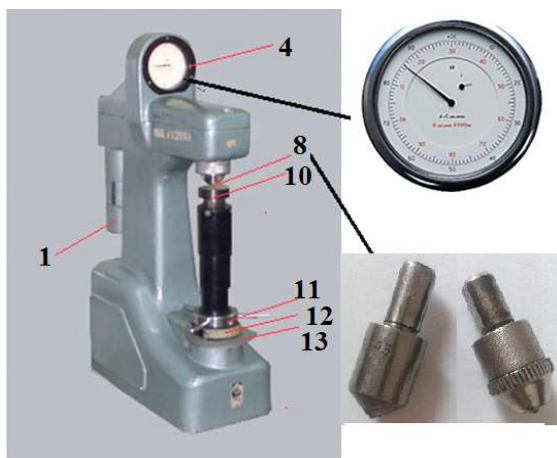
Мета: ознайомлення з основними статичними методиками вимірювання твердості металів та сплавів та набуття практичного досвіду вимірювання твердості матеріалів за методиками Брінеля, Роквелла та Віккерса.

1 Теоретичні відомості

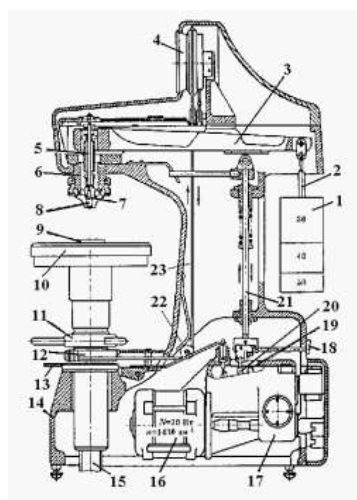
Фізичні основи дюрометричного аналізу, принципи роботи твердомірів та методик виконання вимірювань наведено у навчальному посібнику [1] в темі №3 «Дюрометричний аналіз матеріалів» на сторінках 60-79.

2 Устаткування, прилади і матеріали

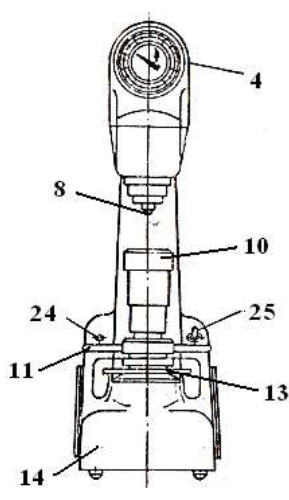
В роботі використовують твердомір Роквелла типу ТК-2 (рис. 4.1), твердомір Віккерса типу ТП-2 (рис. 4.2). Детально принципи роботи твердомірів викладено в навчальному посібнику [1].



a



б



в

Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд (*a*) та принципова схема твердоміра ТК-2 (*б* – вид збоку, *в* – фронтальний вид): 1 – тягарі; 2 – підвіска; 3 – важіль; 4 – індикаторний пристрій; 5 – шпиндель; 6 – пружина; 7 – тримач індентора; 8 – індентор; 9 – зразок; 10 – предметний столик; 11 – гайка-маховик для піднімання столика; 12 – барабан для повороту шкали; 13 – стартова клавіша; 14 – станина; 15 – гвинт столика; 16 – електродвигун; 17 – редуктор; 18 – регулятор швидкості вдавлювання; 19 та 20 – кулачки; 21 – шток; 22 – ролик натягування шнура; 23 – шнур для повороту шкали, 24 – сигнальна лампа; 25 – тумблер вмикання живлення

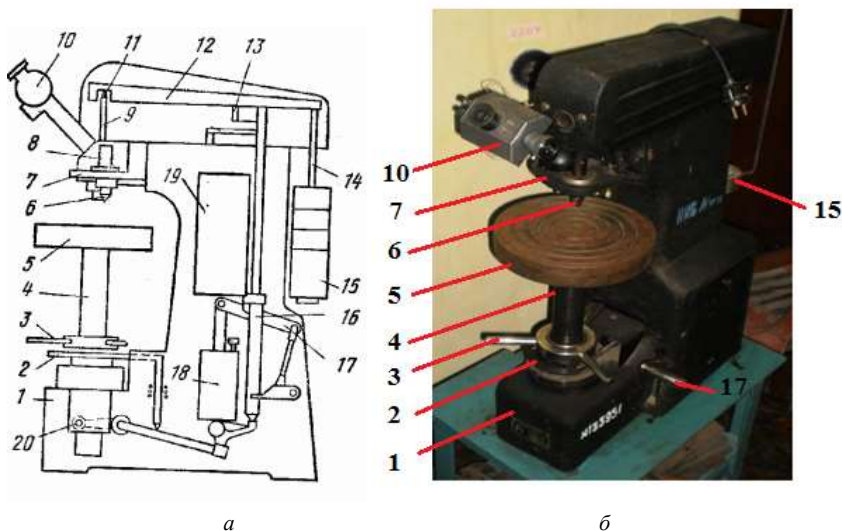


Рисунок 4.2 – Принципова схема (а) та зовнішній вигляд (б) твердоміру ТП-2:
 1 – станина; 2 – стартова клавіша; 3 – гайка-маховик; 4 – гвинт; 5 – предметний столик;
 6 – індентор; 7 – поворотна головка; 8 – об'єктив; 9 – робочий шпиндель; 10 – мікроскоп (гвинтовий окуляр-мікрометр); 11, 13 – опори важеля; 12 – важіль; 14 – підвіска для тягарів; 15 – тягарі; 16 – підйомний шток; 17 – ручка взводу приводу тягарів; 18 – привід тягарів з масляним амортизатором; 19 – тягар для противаги; 20 – електродвигун

Для виконання експериментів використовуються набори зразків сталей з різною температурою відпалу та середовищем загартування, набори кольорових сплавів.

3 Хід виконання лабораторної роботи

Для досягнення мети роботи необхідно виконати наступні кроки:

1. Ознайомитися з будовою та принципом дії твердомірів Роквелла та Віккерса.
2. Опанувати методики проведення вимірювань.

3. Провести випробування наданих викладачем зразків за зазначеними методиками.

4. Розрахувати значення твердості.

5. Зробити висновки щодо отриманих результатів.

Послідовність операцій при проведенні випробувань за наведеними методиками майже однакова. Після підготовки поверхні зразка, що включає її очищення від забруднень та шліфування, підбирають відповідний індентор, шкалу вимірювань, величину навантаження на індентор. Проводять не менше 3 - 5 випробувань в різних точках поверхні.

1. *Порядок проведення вимірювань твердості за Роквеллом (позиції див. на рис. 4.1):*

1) визначити відповідність зразків умовам та обрати за табличними даними відповідну шкалу, навантаження та індентор. Встановити обраний індентор **8** та тягарі **1**;

2) зразок розмістити на предметному столику **10** та обертанням гайки-маховика **11** за часовою стрілкою обережно та повільно притиснути зразок до індентора до тих пір, поки маленька стрілка на індикаторі **4** не співпаде з червоною цяткою, а велика стрілка розміститься вертикально (з врахуванням допуску ± 5 поділок шкали). Якщо велика стрілка буде відхилена більше, то необхідно опустити предметний столик та обрати інше місце для випробувань;

3) обертанням барабана **12** сумістити нуль червоної шкали з великою стрілкою індикатора (при будь-якому інденторі), або повернути саму шкалу вручну (в залежності від типу пристрою);

4) плавним та легким натисненням на клавішу **13** увімкнути привід механізму навантаження;

5) після закінчення циклу навантаження визначити за показами індикаторного пристрою **4** твердість за обраною шкалою для відповідного індентора;

6) опустити столик та знайти інше місце для випробувань. Повторити операції не менше трьох разів. Результати занести до таблиці 4.1.

Твердість за Роквеллом позначають HR та обов'язково вказують шкалу (наприклад, HRB, HRC, HRA). Вказані значення твердості одиниць вимірювання не мають.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювання твердості за методикою Роквелла

Матеріал	Шкала	Індентор	Навантаження	Результати вимірювання	Твердість

2. *Порядок проведення вимірювань твердості за Віккерсом* (позиції див. на рис. 4.2):

1) підготувати поверхню зразка до досліджень (провести шліфування);

2) встановити мінімальне навантаження;

3) на столик **5** встановити підготовлений зразок. Повернути головку **7** в крайнє ліве положення;

4) рукояткою **17** взвести механізм вантажного приводу;

5) маховиком **3** підняти столик зі зразком та притиснути його до індентора **6**;

6) плавно та обережно натиснути педаль **2** пускового механізму. Чекаючи закінчення навантаження (згасне сигнальна лампа та підніметься рукоятка **17**);

7) обертанням маховика опустити зразок;

8) повернути головку **7** в крайнє праве положення. Маховик підняти настільки, щоб бачити в окуляр мікроскопа відбиток індентора.

9) визначити ціну поділки шкали барабанчика. Для цього обирають два штрихи об'єкт-мікрометра, що лежать на деякій відстані один від одного в центральній частині шкали. Сумістив перехрестя окуляр-мікрометра (рис. 4.3) з першим з них, а потім з другим, знаходять різницю між показаннями барабанчика. Оскільки ціна поділки об'єкт-мікрометра та окуляра однакова – 0,01 мм, а барабанчик має 100 поділок, то лінійне збільшення об'єктива $U_{об}$ визначається за формулою (4.1):

$$U_{об} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (4.1)$$

де n_1 – кількість поділок барабанчика; n_2 – кількість поділок шкали об'єкт-мікрометра.

Тоді ціна поділки барабанчика C визначається за формулою (4.2):

$$C = \frac{0,01}{U_{об}} \quad (4.2)$$

Результати розрахунків занести до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку ціни поділки окуляр-мікрометра

Кількість поділок шкали		Ціна поділки, C
барабанчика окуляр-мікрометра, n_1 , шт.	об'єкт -мікрометра, n_2 , шт.	

10) виміряти діагональ відбитку індентора. Для цього використовують гвинтовий окуляр-мікрометр (рис. 4.3).

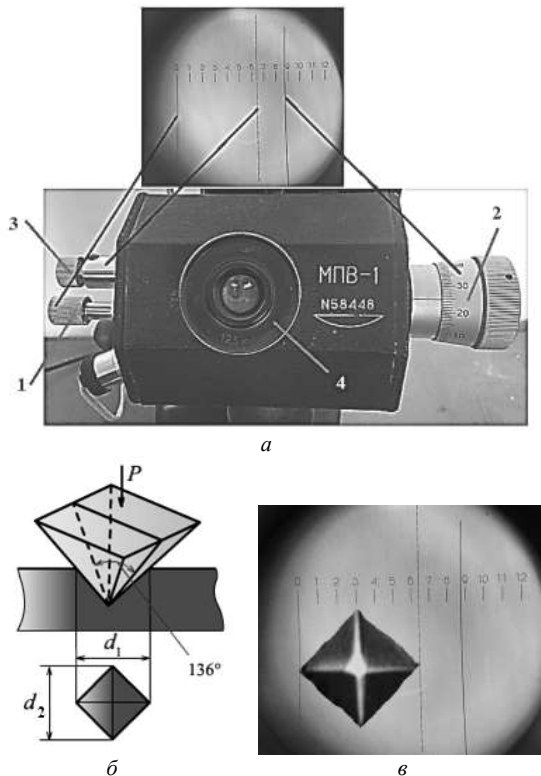


Рисунок 4.3 – Визначення твердості за методикою Віккерса: *а* – гвинтовий окуляр-мікрометр (1 – гвинт руху початку шкали – суцільна лінія; 2 – мікрометричний барабанчик з ціною поділки 0,01 мм – інша суцільна лінія; 3 – гвинт руху штрихової лінії; 4 – окуляр); *б* – схема індентування; *в* – вимірювання відбитку індентора

Гвинтом 1 сумістити початок шкали з лівим краєм відбитку. Обертаючи барабанчик 2 підвести безперервну лінію до правого краю відбитка. Знайдене значення помножити на ціну поділки шкали окуляра, попередньо визначеної за допомогою об'єкт-мікрометра.

11) виміряти іншу діагональ відбитка. Для цього гвинтом **3** сумістити пунктирну лінію з суцільною, яка знаходиться на правому краю відбитка. Повернути окуляр на 90° таким чином, щоб барабанчик **2** був внизу. Переміщенням суцільної лінії гвинтом **1** сумістити початок шкали з верхнім краєм відбитку. Порівняти положення пунктирної лінії з нижнім краєм відбитку. Якщо різниця перевищує 5% від вже виміряного діаметру, то вимірювання не проводять, оскільки відбиток має занадто витягнуту форму. Якщо різниця між положенням краю відбитка та пунктирною лінією незначна, то вимірюють величину діагоналі відбитку;

12) якщо різниця між діагоналями не перевищує 5%, визначити їх середнє значення;

13) твердість за Віккерсом розрахувати за формулою:

$$HV = 0,189 \frac{P}{d^2}, \quad (4.3)$$

якщо P береться в [Н], а d – в [мм].

14) Результати занести до таблиці 4.3. Повторити всі попередні процедури при декількох навантаженнях.

Таблиця 4.3 – Визначення оптимального навантаження для вимірювання твердості за методикою Віккерса

Матеріал								
Ціна поділки шкали, мм								
Навантаження P , Н								
Розміри відбитка індентора, d	Перша діагональ, d_1	Поділки барабанчика						
		мм						
	Друга діагональ, d_2	Поділки барабанчика						
		мм						
	Середнє значення	Поділки барабанчика						
		мм						
Твердість зразка, HV, МПа								

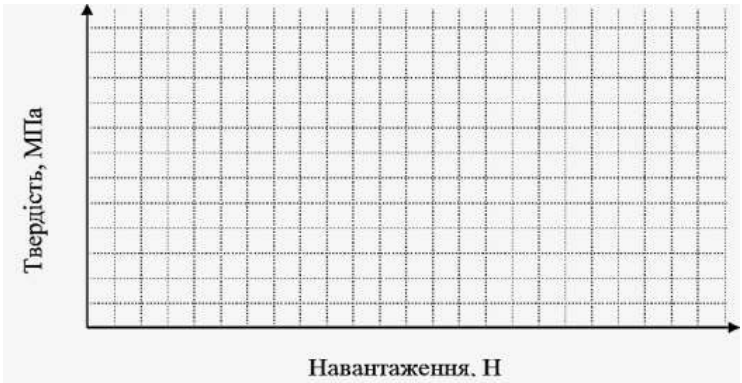


Рисунок 4.3 – Графічна залежність твердості від навантаження

- 15) Побудувати графічну залежність твердості від навантаження (рис.4.4) та визначити оптимальне значення робочого навантаження.
- 16) При робочому навантаженні виміряти твердість наданих зразків в декількох місцях. Результати занести до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати вимірювання твердості за методикою Віккерса

Матеріал							
Навантаження P , Н							
Ціна поділки шкали, мм							
Розміри відбитка індентора, d	Перша діагональ	Поділки барабанчика					
		мм					
	Друга діагональ	Поділки барабанчика					
		мм					
	Середнє значення	Поділки барабанчика					
		мм					
Твердість зразка, МПа							
Середнє значення твердості, МПа			±			±	

4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися стандартних правил безпеки при роботі з обладнанням, наведених у додатку А.

5 Перелік літератури

5.1 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 60-79.

2. *Геллер Ю.А.* Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с. – С. 167-181.

5.2 Додаткова

1. *Белоцкий А.В.* Методические указания к лабораторным работам по курсу «Физические методы исследования металлов». Часть 1 / Сост. А.В. Белоцкий, А.Ф. Богданова, В.Г. Тиняев. – К.: КПИ, 1978. – 72 с. – С. 3- 32.

2. *Золоторевский В.С.* Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский – М.: Металлургия, 1983. – 352 с. С.223-239.

3. *Бернштейн М.Л.* Механические свойства металлов / М.Л. Бернштейн, В.А. Займовский. – М.: Металлургия, 1979. – 426 с.

4. *Дяченко С.С.* Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч. Посібник / С.С. Дяченко – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.

5. *Фридман Я.Б.* Механические свойства металлов. Том 1-2 / Я.Б. Фридман. – М.:Машиностроение, 1974. – 360 с.

6 Формулювання висновків

Висновки до лабораторної роботи повинні давати відповіді на питання:

1. Чи опановані методики визначення твердості та в чому це полягає.
2. Як змінюється твердість сталей при збільшенні вмісту вуглецю та легуванні.
3. Як впливає температура відпалу на твердість сталі? Чому?
4. Як впливає середовище загартовування на твердість сталі? Чому?
5. Як змінюється твердість кольорових сплавів при збільшенні вмісту легуючих елементів.

Висновки: _____

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

ПРОТОКОЛ

Лабораторної роботи № 5

Студент _____	група _____
Допуск _____	Дата _____
	Підпис _____
	викладача
Захищено _____	Дата _____
з оцінкою	Підпис _____
	викладача

Тема роботи:

«Вимірювання мікротвердості металів та сплавів»

Мета: ознайомлення з фізичними основами вимірювання мікротвердості матеріалів, опанування принципів роботи мікротвердоміру ПМТ-3, набуття практичного досвіду вимірювання за його допомогою мікротвердості металів та сплавів.

1 Теоретичні відомості

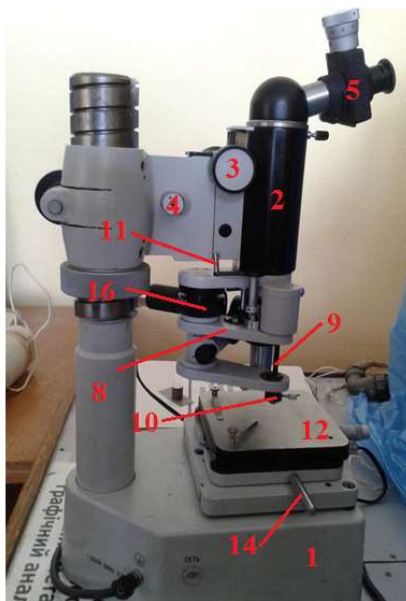
Фізичні основи дюрOMETричного аналізу, принципи роботи твердомірів та методик виконання вимірювань наведено у навчальному посібнику [1] в темі №3 «ДюрOMETричний аналіз матеріалів» на сторінках 63-65, 80-90.

2 Устаткування, прилади і матеріали

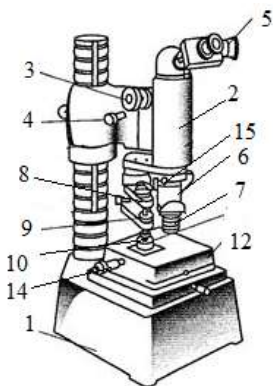
Вимірювання мікротвердості проводиться за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3, зображеного на рис. 5.1. Детально принципи його роботи викладено в навчальному посібнику [1]. Даслідження мікротвердості проводяться за допомогою наборів зразків, які надаються викладачем чи лаборантом.



a



б



в

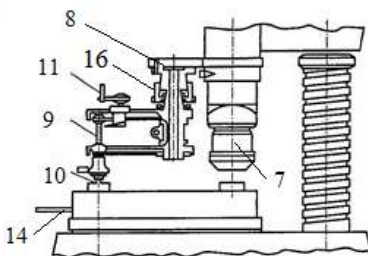


Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд (*a* – вид справа, *б* – вид зліва) та схема (*в*) приладу ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості: 1 – основа зі штативом; 2 – тубус; 3 – макрометричний гвинт; 4 – мікрометричний гвинт; 5 – окулярний мікрометр; 6 – освітлювач; 7 – об'єктив; 8 – навантажувальний блок; 9 – стрижень для навантажувачів; 10 – індентор; 11 – ручка навантаження; 12 – предметний столик; 13 – регулювальні гвинти; 14 – ручка повороту предметного столика; 15 – центрувальні гвинти; 16 – тарувальний пристрій

3 Хід виконання лабораторної роботи

Методика проведення випробувань для визначення мікротвердості майже така сама, що й при вимірюванні твердості за Віккерсом. Після підготовки поверхні зразка встановлюють оптимальне навантаження та проводять не менше 10-15 випробувань в різних точках поверхні. Потім розраховують значення мікротвердості матеріалу.

Для отримання достовірних результатів необхідне виконання наступних етапів:

1. Пробопідготовка.

Виконується у відповідності до правил, викладених в роботі №2.

2. Центрування мікроскопа.

Центрування проводиться за допомогою окулярного мікрометра МОВ–1-15 (рис.5.1, поз. 5) та центрувальних гвинтів (рис. 5.1, поз. 15).

Послідовність етапів процесу центрування представлено на рисунку 5.2. Перехрестя рисок в окуляр-мікрометрі **5** встановлюють в центрі поля зору мікроскопа. Для цього подвоєний штрих, що пересувається барабанчиком мікрометра має бути навпроти цифри 4 нерухомої шкали, а нуль шкали барабанчика – точно навпроти риски (рис. 5.2, *а*). Після цього переміщують предметний столик **12** зі зразком ручкою **14** під індентор та прикладають навантаження. Якщо прилад не відцентрований, то після повернення столика у попереднє положення, відбиток з'явиться не всередині перехрестя (рис. 5.2, *б*). Тоді центрувальними гвинтами **15** переміщують перехрестя доти, поки воно не співпаде з центром відбитка (рис. 5.2, *в*). Після цього переміщують предметний столик гвинтами **13**, щоб знайти нове місце для відбитка (рис.5.2, *г*). Знову проводять індентування. Новий відбиток має бути точно

всередині перехрестя (рис. 5.2, *б*). Якщо цього не сталося – процедуру повторюють.

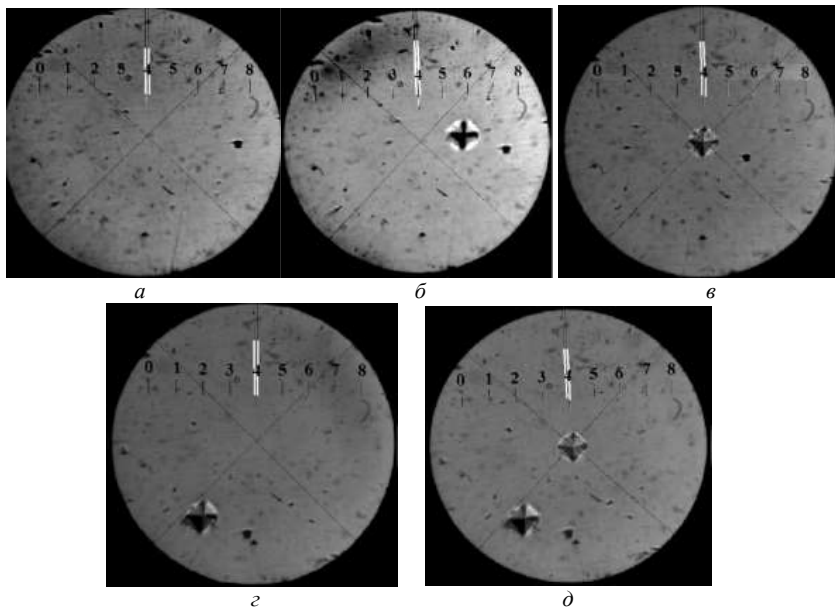


Рисунок 5.2 – Послідовність проведення процедури центрування мікротвердоміру ПМТ-3

3. Тарування індентора.

Спочатку необхідно впевнитися в правильній установці індентора відносно осі навантажуючого механізму (рис. 5.3, *а*).

Тарування навантажуючого пристрою виконується за допомогою еталонних шліфів та забезпечує правильне взаємне положення індентора та мікроскопа.

Отримані при випробуванні значення мікротвердості мають співпадати з зазначеними на еталоні. Якщо ці значення більші – індентор необхідно підняти, якщо менші – опустити. Таке регулювання виконується за допомогою повороту шайби **16** (рис. 5.1).

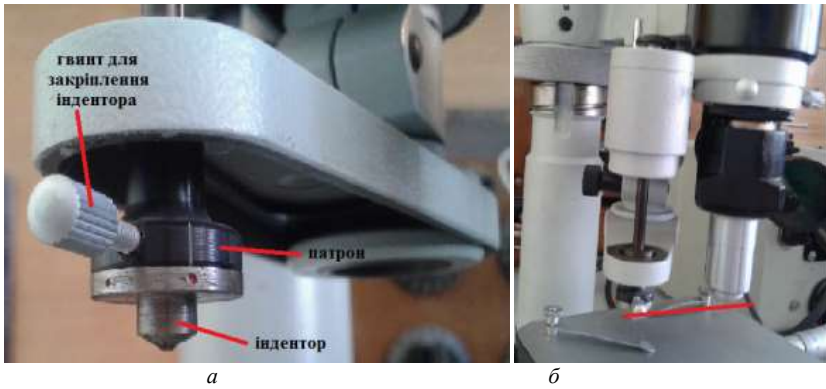


Рисунок 5.3 – Тарування мікротвердоміра: *а* – правильне розташування індентора в тримачі, *б* – взаємне положення індентора та мікроскопа (лінія – між вершиною індентора та площиною фокусування об'єктиву)

4. Визначення ціни поділки шкали барабанчика окулярного мікрометра.

Для визначення ціни поділки шкали барабанчика обирають два штрихи об'єкт-мікрометра, що лежать на деякій відстані один від одного в центральній частині шкали. Сумістив перехрестя з першим з них, а потім з другим, знаходять різницю між показаннями барабанчика. Тоді ціна поділки барабанчика визначається за формулою (5.1):

$$C = \frac{0,01}{U_{об}} \quad (5.1)$$

Результати розрахунків занести до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку ціни поділки шкали барабанчика окулярного мікрометра

Кількість поділок шкали		Ціна поділки, <i>C</i>
барабанчика окуляр- мікрометра, <i>n</i> ₁ , шт.	об'єкт -мікрометра, <i>n</i> ₂ , шт.	

5. Визначення оптимального навантаження.

Вимірювання мікротвердості необхідно виконувати при оптимальному навантаженні. Для цього проводять серію випробувань при різних навантаженнях та будують графік в координатах «навантаження – мікротвердість» (рис.5.4). Крива має наступну форму: зі збільшенням навантаження мікротвердість спочатку зменшується, а потім залишається постійною. Оптимальним вважається навантаження, починаючи з якого мікротвердість не змінюється.

Всі дані при визначенні оптимального навантаження занести до таблиці 5.2. Повторювати вимірювання для 5-6 різних навантажень.

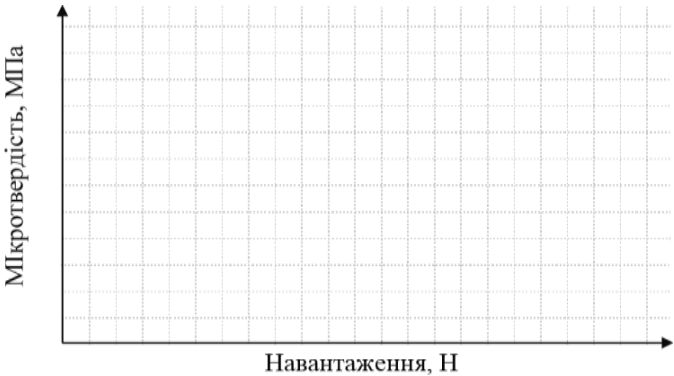


Рисунок 5.4 – Крива для визначення оптимального навантаження

Таблиця 5.2 – Визначення оптимального навантаження

Навантаження <i>P, Н</i>								
Розміри відбитка індентора, <i>d</i>	Перша Діагональ	Поділки барабанчика						
		мм						
	Друга діагональ	Поділки барабанчика						
		мм						
	Середнє значення	Поділки барабанчика						
		мм						
Мікротвердість зразка, МПа								

6. Проведення вимірювань.

1) підготовлений зразок встановлюють на основу (скляну чи металеву) та за допомогою пластичної маси (пластиліну) та спеціального пресу забезпечують паралельність робочої поверхні та площини столика мікротвердоміру. Якщо робоча поверхня зразка протравлена, необхідно перед натисканням пресу обов'язково накрити її фільтрувальним папером чи тканиною для запобігання пошкодженню;

2) основу закріплюють на предметному столику, який знаходиться у крайньому положенні за годинниковою стрілкою, під об'єктивом та за допомогою мікро- та макро- гвинтів фокусують зображення;

3) переміщуючи стіл зі зразком у двох перпендикулярних напрямках гвинтами **13**, обирають місце нанесення відбитку індентора і розміщують його у вершині кута нерухомої сітки. При цьому необхідно пересвідчитися, що нуль шкали барабанчика окулярного мікрометра **5** знаходиться навпроти риски, а бі-штрих – навпроти цифри «чотири»;

4) встановлюють оптимальну вагу на шток **9**. Повільно та обережно повертають стіл ручкою **14** проти годинникової стрілки на 180° до упору для розміщення зразка під індентором;

5) повільним обертанням ручки **11** опускають шток з індентором на зразок. Витримують навантаження протягом 10-15 с;

6) після закінчення навантаження ручку **11** повільно піднімають, знімаючи дію індентора;

7) повільно повертають ручкою **14** стіл за годинниковою стрілкою до упору, повертаючи зразок під об'єктив мікроскопа для вимірювання діагоналей відбитка. Якщо центрування не порушене, відбиток буде знаходитися посередині поля зору в перехресті рисок.

7. Розрахунок мікротвердості.

1) обертанням регулювальних гвинтів **13** підводять відбиток до косинця нерухомої сітки так, щоб вершина косинця співпала з лівим кутом відбитка, а пунктирні лінії косинця співпали з гранями лівої частини відбитка (рис. 5.5, а).

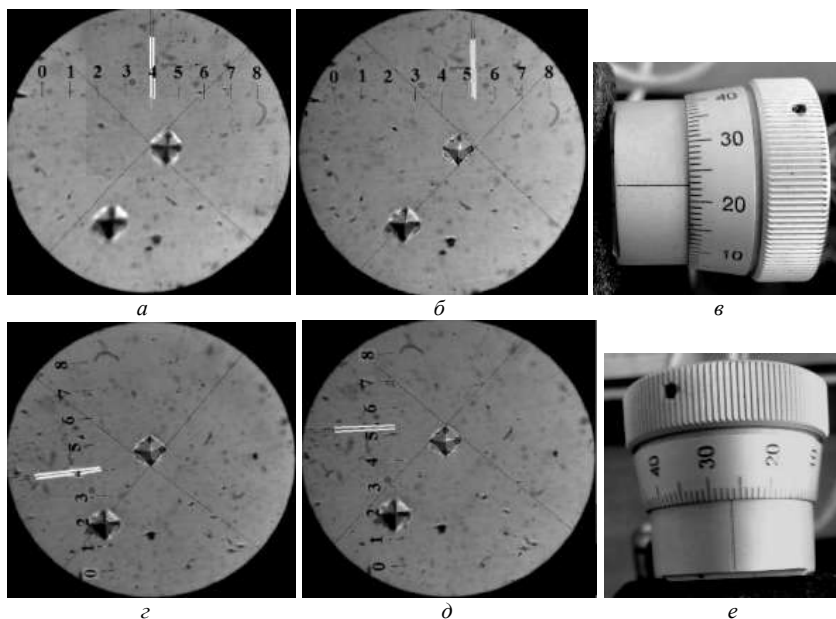


Рисунок 5.5 – Методика вимірювання діагоналі відбитка індентора: *а-в* – вимірювання горизонтальної діагоналі, розмір якої становить 123 поділки шкали барабанчика, *г-е* – вимірювання вертикальної діагоналі, розмір якої становить 126 поділок шкали барабанчика

Після цього обертанням мікрометричного барабанчика окуляра «на себе» підводять вершину косинця рухомої сітки до протилежного кута відбитка; тоді пунктирні лінії косинця рухомої сітки поєднуються з гранями правої частини відбитка (рис. 5.5, *б*).

При такому положенні шкали окуляр-мікрометра указують довжину діагоналі відбитка. Відлік кількості повних поворотів барабанчика проводиться по цифрах, які можна спостерігати в полі зору, а долей – по показанням барабанчика окулярного мікрометра (рис. 5.5, *в*), ціна поділки якого вже визначена за формулою (5.1);

2) повернути окуляр на 90° та аналогічним чином визначити довжину другої діагоналі (рис. 5.5, *г-е*). Перевірити, щоб діагоналі не відрізнялися більш ніж на 2 %;

3) підрахувати середнє значення довжин діагоналей відбитку;

4) мікротвердість визначити за формулою (5.2) або (5.3):

$$H_{\mu} = \frac{0,102 \times 2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,189 \frac{F}{d^2}, \quad (5.2)$$

або

$$H_{\mu} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (5.3)$$

де α – кут при вершині піраміди індентора ($\alpha = 136^\circ$), F – використане навантаження в [Н], P – використане навантаження в [кгс]; d – діаметр відбитка в [мм].

5) при оптимальному навантаженні виміряти мікротвердість кожного з досліджуваних матеріалів у трьох точках. Дані записати до таблиці 5.3;

6) знайти середнє значення мікротвердості кожного досліджуваного матеріалу за формулою (5.4):

$$H_{cp} = \frac{\sum H_i}{n} \quad (5.4)$$

7) визначити похибку вимірювань мікротвердості, користуючись середнім квадратичним відхиленням σ_X , яке можна знайти за методикою, наведеною у додатку В, а значення результату слід подавати у вигляді:

$$H_{\mu} = H_{cp} \pm t\sigma_X, \quad (5.5)$$

8) встановлене значення мікротвердості матеріалу позначається літерами H_{μ} . В тексті має бути обов'язково зазначено навантаження та форма індентора. Наприклад: $H_{\mu} 100/30-5000 \pm 5$ МПа – це означає, що мікротвердість 5000 МПа отримана при навантаженні у 100 г протягом 30 с з точністю до 5 МПа.

Таблиця 5.3 – Визначення мікротвердості

Матеріал								
Навантаження P , Н								
Ціна поділки шкали, мм								
Розміри відбитка індентора, d	Перша діагональ	Поділки барабанчика						
		мм						
	Друга діагональ	Поділки барабанчика						
		мм						
	Середнє значення	Поділки барабанчика						
		мм						
Мікротвердість зразка, МПа								
Середнє значення мікротвердості, МПа								
Мікротвердість матеріалу з врахуванням похибки вимірювань			±			±		

4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися стандартних правил безпеки при роботі з обладнанням, наведених у додатку А.

Особливу увагу треба звернути на безпеку процесу підготовки робочої поверхні зразка (розділ 4 роботи № 2).

Також необхідно всі операції при індентуванні проводити плавно, щоб не пошкодити прилад та отримати достовірний результат.

5 Перелік літератури

5.1 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 80-90.

2. *Геллер Ю.А.* Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с. – С. 181-184.

5.2 Додаткова

1. *Milman Yu.V.* Plasticity characteristic obtained through hardness measurement / Yu.V. Milman, B.A. Galanov, S.I. Chugunova // Acta Metallurgica et Materialia. – 1993. – Vol. 43. – P. 2523-2532.

2. *Бернштейн М.Л.* Механические свойства металлов / М.Л. Бернштейн, В.А. Займовский. – М.:Металлургия, 1979. – 426 с.

3. *Дяченко С.С.* Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навчальний посібник / С.С. Дяченко. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.

4. *Фридман Я.Б.* Механические свойства металлов. Том 1-2 / Я.Б. Фридман. – М.:Машиностроение, 1974. – 360 с.

5. *Белоцкий А.В.* Методические указания к лабораторным работам по курсу «Физические методы исследования металлов». Часть IV. / Сост. А.В. Белоцкий, А.Ф. Богданова, В.Г. Тиняев. – К.: КПИ, 1984. – 60 с. – С. 32-47.

6. *Золоторевский В.С.* Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с. – С.223-239.

ПРОТОКОЛ

Лабораторної роботи № 6

Студент _____	група _____
Допуск _____ Дата _____	Підпис _____
	викладача
Захищено _____ Дата _____	Підпис _____
з оцінкою	викладача

Тема роботи:

«Визначення коефіцієнта лінійного розширення і критичних точок в сталях за допомогою дилатометра з катком»

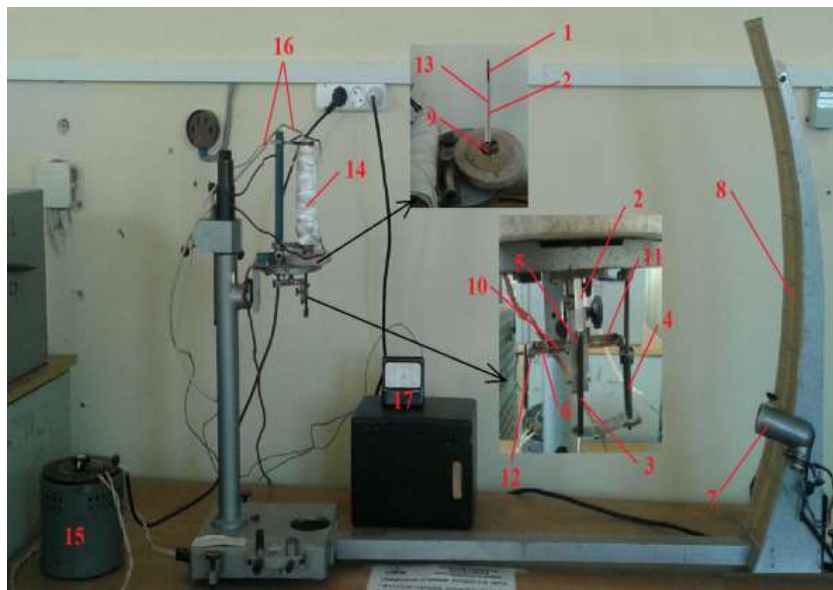
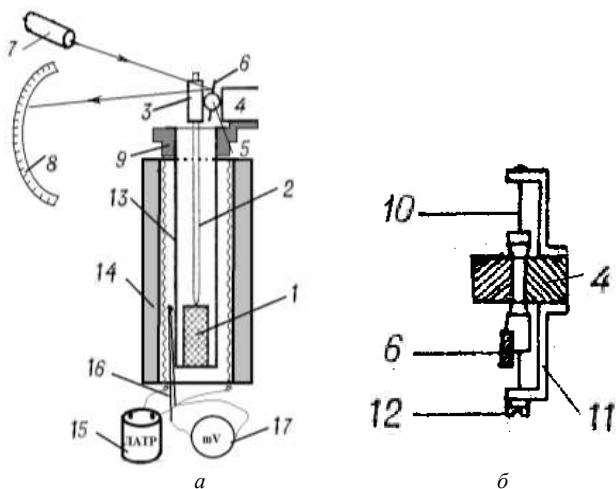
Мета: ознайомлення з конструкцією дилатометра з катком та опанування принципів його роботи, набуття практичного досвіду побудови дилатометричної кривої в процесі відпуску загартованої сталі, опанування методики визначення коефіцієнтів лінійного розширення різних структурних складових сталі.

1 Теоретичні відомості

Фізичні основи дилатометричного аналізу, а також принципи роботи та конструкція дилатометра з катком наведено у навчальному посібнику [1] в темі №4 «Дилатометричний аналіз матеріалів» на сторінках 91-103, 112-114.

2 Устаткування, прилади і матеріали

В роботі використовується дилатометр з катком, зовнішній вигляд якого та принципову схему зображено на рисунку 6.1. Детальна інформація наведена в посібнику [1].



б

Рисунок 4.5 – Дилатометр з катком (а – принципова схема, б – схема стабілізації катка, в – зовнішній вигляд): 1 – зразок; 2 – штовхач; 3 – рухомий блок; 4 – нерухомий блок; 5 – каток; 6 – дзеркало; 7 – освітлювач; 8 – шкала; 9 – фланець; 10 – струна; 11 – опора; 12 – гвинт; 13 – кварцова трубка; 14 – піч; 15 – ЛАТР; 16 – термопара; 17 – мілівольтметр

Для виконання дилатометричного аналізу надаються зразки сталей. Кожна бригада отримує від викладача чи лаборанта окремий зразок.

3 Хід виконання лабораторної роботи

Для побудови дилатометричної кривої необхідне виконання наступних кроків:

1. Помістити зразок та штовхач в кварцову трубку і насунути електропіч.

2. Відрегулювати світловий «зайчик» і встановити його в нульове положення на правій шкалі. Грубе регулювання здійснюється поворотом дзеркала разом з катком, тонке – за допомогою гвинта **12** (рис. 6.1) на стояку прилада.

Зуваження. Пп. 1 і 2 виконуються з допомогою лаборанта.

3. Включити живлення електропечі.

4. Відрегулювати ЛАТРом напругу, яка подається на електропіч. Спочатку встановити регулятор напруги ЛАТРа на поділку 50 В, потім плавно підвищувати напругу переміщенням движка на 8...10 В при нагріванні зразка на кожні 100°C. Для визначення кількості градусів необхідний перерахунок показань мілівольтметра за формулою (6.1):

$$T_{x-a} = 24,083 \times U + 20, \quad (6.1)$$

де U – напруга в мВ.

Увага! Не можна підвищувати напругу вище 200 В.

5. Записувати показники дилатометра через кожні 20°C змінення температури зразка. Зразок нагріти до температури 800°C.

6. При досягненні температури 800°C знизити напругу на ЛАТРі та зменшувати її плавно до нуля, переміщуючи регулятор напруги ЛАТРа на 10 В через кожні 100°C.

7. Отримані результати занести до таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – Первинні дані для запису дилатограми нагріву зразка

Показання шкали	Температура, °C	Показання шкали	Температура, °C	Показання шкали	Температура, °C
	20		300		580
	40		320		600
	60		340		620
	80		360		640
	100		380		660
	120		400		680
	140		420		700
	160		440		720
	180		460		740
	200		480		760
	220		500		780
	240		520		800
	260		540		
	280		560		

8. Користуючись даними таблиці 6.1, побудувати графік в координатах «відносне видовження – температура».

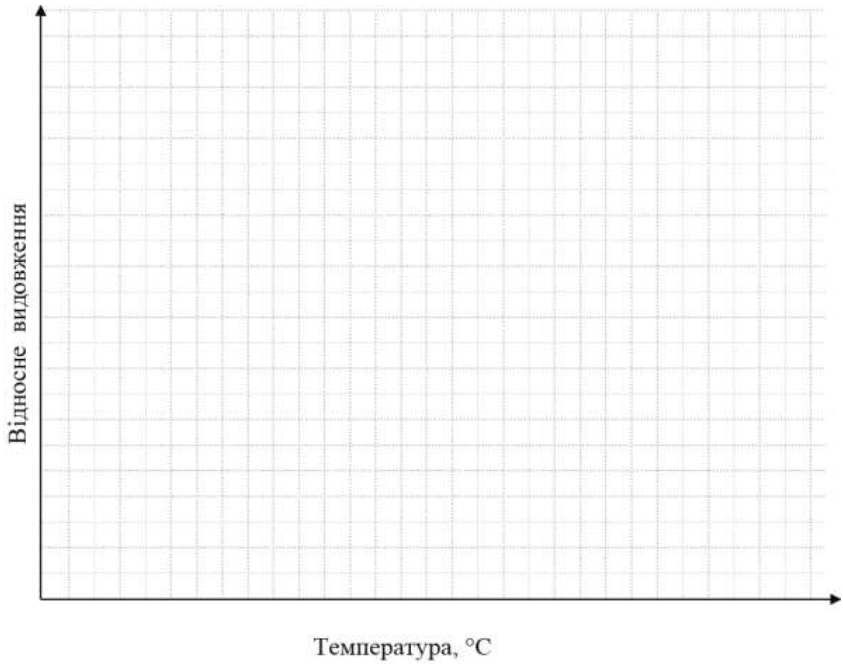
9. Проаналізувати отриманий графік, визначивши інтервали температур, в яких відбулася зміна довжини зразка. Для цих інтервалів розрахувати коефіцієнт лінійного розширення сталі за формулою (6.2):

$$\alpha'_s = \alpha_k + \frac{1}{Kl_s} \frac{M_n}{M_t} \operatorname{tg} \varphi, \quad (6.2)$$

де φ – кут нахилу дотичної до дилатограми в точці, яка відповідає температурі t . Визначається графічно. Результати записати до таблиці 6.2.

10. Порівняти отримані результати з даними, наведеними в таблиці 6.1 наукового посібника, або в іншій довідковій літературі.

11. Зробити висновки щодо отриманих результатів.



Таблиця 6. – Розрахунок коефіцієнта термічного розширення сталі

Температурний інтервал	Нахил кривої, $\text{tg} \varphi$	Сталі величини	Коефіцієнт термічного розширення, α'_s , град^{-1}	Фаза
		$\alpha_k =$		
		$K =$		
		$M_n =$		
		$M_t =$		

4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися стандартних правил безпеки при роботі з обладнанням, наведених у додатку А.

Не можна доторкатися до печі під час проведення вимірювань. Виймати зразок можна лише після повного охолодження печі.

5 Перелік літератури

5.1 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 91-123.

2. *Геллер Ю.А.* Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с. – С. 101-102.

5.2 Додаткова

1. *Белоцкий А.В.* Методические указания к лабораторным работам по курсу «Физические методы исследования металлов». Часть II. / Сост. А.В. Белоцкий, А.Ф. Богданова, В.Г. Тиняев. – К.: КПИ, 1988. – 56 с. – С.3-10.

2. *Лившиц Б.Г.* Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с. – С.279-287.

3. *Гуляев П.А.* Металловедение / П.А. Гуляев. – М.: Металлургия, 1978. – 646 с. – С.230-234.

ПРОТОКОЛ
Лабораторної роботи № 7

Студент _____	група _____
Допуск _____	Дата _____
	Підпис _____
	викладача
Захищено _____	Дата _____
з оцінкою _____	Підпис _____
	викладача

Тема роботи:

**«ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ДИЛАТОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ.
ЧАСТИНА 1. ГРАДУЮВАННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ОПТИЧНОГО
ДИЛАТОМЕТРА ТИПУ ШЕВЕНАРА»**

Мета: ознайомлення з конструкцією диференційного оптичного дилатометра типу Шевенара та набуття практичного досвіду побудови градуювальної сітки для подальших досліджень.

1 Теоретичні відомості

Фізичні основи дилатометричного аналізу, а також принципи роботи та конструкція дилатометра з катком наведено у навчальному посібнику [1] в темі №4 «Дилатометричний аналіз матеріалів» на сторінках 91-100, 103-115.

2 Устаткування, прилади і матеріали

Для виконання роботи використовується наступне обладнання: оптичний диференційний дилатометр типу Шевенара, зразки зі сплаву «пірос». Принципову схему дилатометра зображено на рисунку 7.1. Детально принципи роботи описано в посібнику [1].

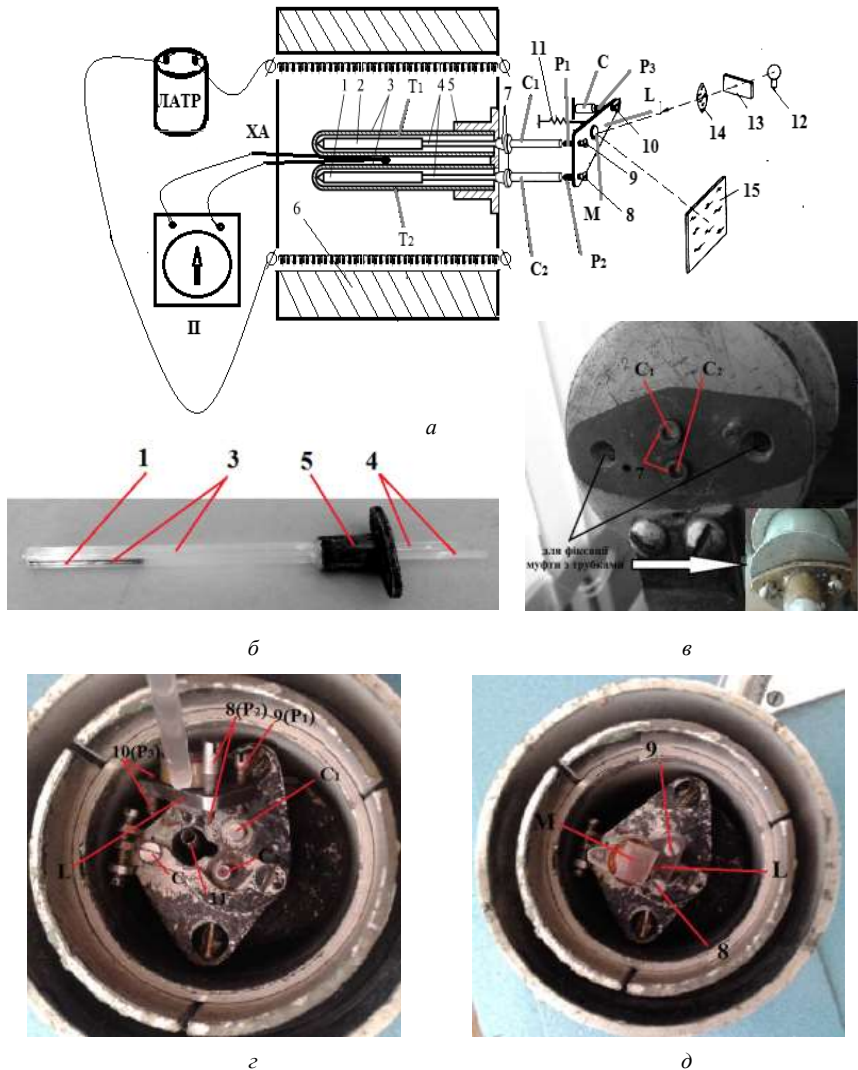


Рисунок 7.1 – Диференційний оптичний дилатометр типу Шевенара (а – принципова схема, б – кварцові трубки в муфті, в – головка дилатометра, г – піднятий оптичний трикутник, д – правильно встановлений оптичний важіль): 1 – зразок; 2 – еталон; 3 – кварцові трубки; 4 – кварцові штовхачі; 5 – муфта; 6 – електрична піч; 7 – притискаючі обмежувачі; 8, 9, 10 – мікрровинти; 11 – притискаюча пружина; 12 – лампочка; 13 – блок діафрагм; 14 – конденсор; 15 – матове скло (фотопластина)

3 Хід виконання лабораторної роботи

1. Помістити в кварцові трубки два еталона, штовхачі і прикріпити фланець з трубками до головки дилатометра за допомогою гвинтів.

2. Встановити рамку з матовим склом і калькою в фотокасету.

3. Надвинути електропіч на кварцові трубки і закріпити її за допомогою гвинтів так, щоб трубки зі зразками знаходились в центрі обмотки електропечі в безпосередній близькості до гарячого спаю термопар **ХА**.

4. Включити тумблери живлення понижуючого трансформатора і освітлювальної лампочки.

5. Здійснити налаштування реєструючої частини дилатометра:

1) ввести юстувальну діафрагму;

2) поворотом гвинтів **8-10** (рис. 7.1) оптичного трикутника встановити «світловий зайчик» в лівому верхньому куті;

3) ввести робочу діафрагму.

6. ЛАТРОм плавно збільшити напругу, яка подається на електропіч, таким чином, щоб забезпечити швидкість нагрівання $5 \dots 8$ град/хв.

7. Через кожні 50°C , починаючи з кімнатної температури, включати електромагнітний затвор на $2 \dots 3$ с. Температуру визначати за показами потенціометра та олівцем фіксувати місце розташування «зайчика».

8. Градування закінчити при досягненні температури $600 \dots 700^\circ\text{C}$.

9. Включити живлення печі.

10. Визначити коефіцієнт збільшення по осі OX (K_I). Для цього скористатися формулою (7.1) і даними таблиці 7.1 та заповнити таблицю 7.2:

$$X_T = \bar{K}_I l_3 (\Delta_e - \Delta_k)_T, \quad (7.1)$$

де T – значення температури в $100, 200, 300^\circ\text{C}$ і т.д. відповідно; Δ_e і Δ_k – відносне розширення еталона і кварца, відповідно; l_3 – початкова довжина зразка (50 мм).

Таблиця 7.1 – Параметри розширення сплаву «пірос»

Температура, °C	Істинне відносне розширення «піроса» $\Delta_e \times 10^3$	$(\Delta_e - \Delta_k),$ 10^3	Істинний коефіцієнт розширення піроса, $\alpha \times 10^6$
50	0,65	0,62	13,14
100	1,32	1,27	13,53
150	2,01	1,92	13,93
200	2,71	2,60	14,38
250	3,43	3,29	14,91
300	4,18	4,02	15,46
350	4,97	4,77	15,97
400	5,78	5,56	16,46
450	6,61	6,37	16,93
500	7,47	7,20	17,37
550	8,35	8,05	17,81
600	9,25	8,92	18,24
650	10,17	9,82	18,65
700	11,11	10,73	19,01
750	12,07	11,66	19,37
800	13,05	12,61	19,73
850	14,05	13,58	20,09
900	15,06	14,57	20,45
950	16,09	15,57	20,81
1000	17,4	16,59	21,17

11. Визначити збільшення по осі OY (коефіцієнт K_2) за формулою (7.2):

$$K_2 = K_1 \times \operatorname{tg} \varphi, \quad (7.2)$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – кут нахилу осі OA .

12. Для визначення кута нахилу осі OA помістити еталон в трубку T_1 та виконати операції 4-5, потім між стрижнем-виштовхувачем C_1 та тримачем **7** (рис. 7.1) вставити плитку Йогансона товщиною 1 мм та відмітити нове положення «зайчика». Обережно виїняти плитку та вставити іншу, товщиною 1,3 мм. Знову відмітити положення «зайчика». Визначити тангенс кута φ . Результати записати до таблиці 7.3.

Таблиця 7.2 – Розрахунок коефіцієнта збільшення по осі OX

Покази потенці- ометра, мВ	Температура, °C	Положення «зайчика», мм	$10^3 \times (\Delta_e - \Delta_k)$	Значення K_I	Коефіцієнт збільшення (середній), \overline{K}_I
	50		0,62		
	100		1,27		
	150		1,92		
	200		2,60		
	250		3,29		
	300		4,02		
	350		4,77		
	400		5,56		
	450		6,37		
	500		7,20		
	550		8,05		
	600		8,92		
	650		9,82		
	700		10,73		

Таблиця 7.3 – Розрахунок коефіцієнта збільшення по осі OY

Ширина плитки Йогансона, мм	Положення «зайчика»		$\operatorname{tg} \varphi$	Коефіцієнт збільшення, \overline{K}_1	Коефіцієнт збільшення, \overline{K}_2
	X, мм	Y, мм			
1,0					
1,3					

13. Розрахувати коефіцієнт збільшення по осі OA - K_3 . Для цього знайти довжину відрізка по осі OA для обраної температури. Виконати розрахунки за формулою (7.3):

$$OA = K_3 (\Delta_e - \Delta_k) l_z \quad (7.3)$$

Всі результати записати до таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Розрахунок коефіцієнту збільшення по осі OA

Температура, °C	Довжина відрізку OA , мм	$10^3 \cdot$ ($\Delta_e - \Delta_k$)	Коефіцієнт збільшення, K_3

14. Розрахувати положення градувальних рисок на осі OX через кожні 100°C за формулою (7.4) та відстань між рисками по осі OY за формулою (7.5). Дані занести до таблиці 7.5.

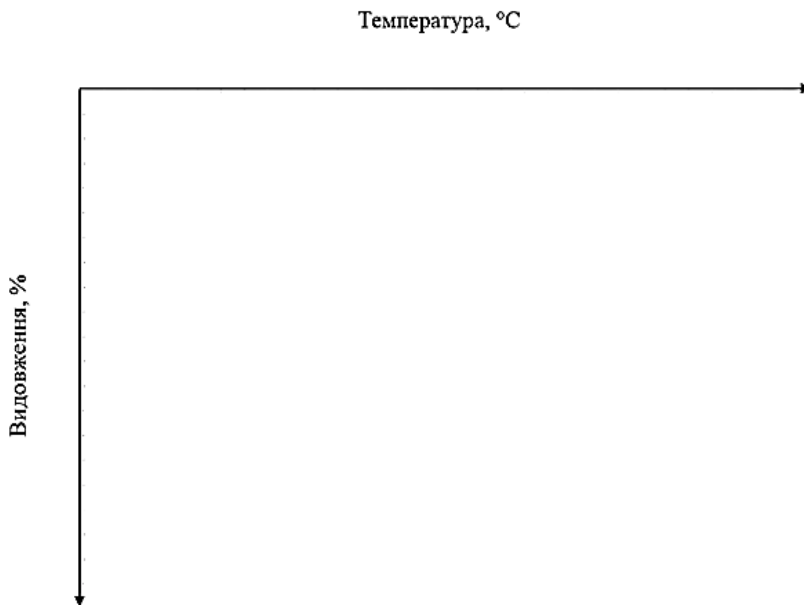
$$OX = K_1(\Delta_e - \Delta_k)l_3, \quad (7.4)$$

$$\eta = 0,001 \times \bar{K}_2 \times l_3 \quad (7.5)$$

Таблиця 7.5 – Дані для побудови градувальної сітки

Температура, °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Координати риски на осі OX , мм										
Величина η										
Координати риски на осі OY , мм										

15. Побудувати градувальну сітку. Температура – до 1000°C .
Видовження – до 1,0 %.



4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися стандартних правил безпеки при роботі з обладнанням, наведених у додатку А.

5 Перелік літератури

5.1 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 91-123.

2. *Геллер Ю.А.* Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с. – С. 102-107.

5.2 Додаткова

1. *Богданова А.Ф.* Методические указания к лабораторным работам по курсу «Физические методы исследования металлов». Часть III. Раздел «Дилатометрические и тепловые методы» / Сост. А.Ф. Богданова, В.Г. Тиняев. – К.: КПИ, 1989. – 40 с. – С. 10-18.

2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Фізичні властивості металів» / В.Л. Грешта, О.В. Климов, О.А. Глотка, Д.В. Ткач. – ЗНТУ, 2010. – 82 с. – С. 27-34.

3. *Журавлев Л.Г.* Физические методы исследования металлов и сплавов: Учеб. пособие / Л.Г. Журавлев, В.И. Филатов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 157 с. – С.29-34, 39-42.

6 Формулювання висновків

Висновки щодо встановленого рівня величин повинні давати відповіді на питання:

1. Чи опанована методика диференційного дилатометричного аналізу та в чому це полягає.

2. Яка величина коефіцієнтів збільшення по всіх осях градуовальної сітки.

3. Порівняти збільшення по осі OY зі збільшенням, отриманим для каткового дилатометра. За рахунок чого виникає ця різниця?

Висновки: _____

ПРОТОКОЛ
Лабораторної роботи № 8

Студент _____	група _____
Допуск _____	Дата _____
	Підпис _____
	викладача
Захищено _____	Дата _____
з оцінкою _____	Підпис _____
	викладача

Тема роботи:

**«ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ДИЛАТОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ.
ЧАСТИНА 2. ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ТОЧОК, КОЕФІЦІЄНТА
ТЕРМІЧНОГО РОЗШИРЕННЯ ТА ДИЛАТОМЕТРИЧНОГО
ЕФЕКТУ В СТАЛЯХ»**

Мета: ознайомлення з конструкцією диференційного оптичного дилатометра типу Шевенара, набуття практичного досвіду визначення критичних точок в вуглецевих та низьколегованих сталях при нагріві та охолодженні, а також їх термічного коефіцієнта лінійного розширення в заданому інтервалі температур.

1 Теоретичні відомості

Фізичні основи дилатометричного аналізу, а також принципи роботи та конструкція дилатометра з катком наведено у навчальному посібнику [1] в темі №4 «Дилатометричний аналіз матеріалів» на сторінках 103-108, 114-123.

2 Устаткування, прилади і матеріали

Для виконання роботи використовується наступне обладнання: оптичний диференційний дилатометр типу Шевенара, детально описаний в

попередній роботі та в посібнику [1], еталон зі сплаву «пірос», зразки зі сталей різних марок.

3 Хід виконання лабораторної роботи

1. Отримання дилатограми.

1) помістити в кварцові трубки два зразка: перший із сплаву пірос – в трубку T_1 , другий із вуглецевої сталі – в трубку T_2 (лаб. роб. № 7, рис. 7.1);

2) прикріпити фланець з кварцовими трубками до головки дилатометра за допомогою гвинтів (виконує лаборант);

3) встановити рамку з проградуйованим матовим склом (калькою) в гніздо фотокасети **19** (рис.7.1);

4) насунути електропіч на кварцові трубки і закріпити її за допомогою гвинтів так, щоб трубки із зразками знаходились в центрі обмотки електропечі досить близько до гарячого спаю термопари **ХА** (виконує лаборант);

5) включити тумблери понижуючого трансформатора і освітлювальної лампочки;

6) провести юстування реєструючої частини дилатометра (лаб. роб. № 7);

7) увімкнути живлення електропечі;

8) за допомогою ЛАТРа підвищувати температуру електропечі, плавно збільшуючи напругу таким чином, щоб швидкість нагрівання не перевищувала 5-10 град/хв.;

Примітка. Максимальне положення стрілки ЛАТРа не повинно перевищувати 150 В.

9) нагрівання закінчити після того, як на дилатометричній кривій будуть відмічені 3... 4 точки після досягнення критичної точки A_{c3} (якщо замість фотокасети застосовується калька, позначки треба наносити олівцем);

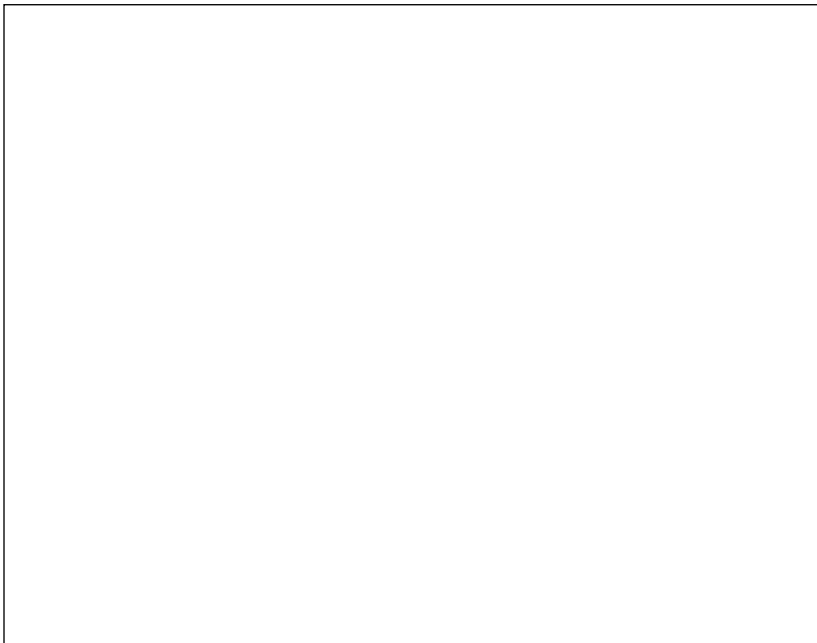
10) охолодити зразки, спочатку зменшуючи покази ЛАТРа від 160

до 120 В, а потім через кожні 25°C – на 10 В (від максимального на 3 поділки шкали). Охолодження закінчити при 100°C;

11) закрити шторку касети, виключити терморегулятор, живлення електropечі і тумблер 1;

12) проявити фотоплівку. Дилатограму вклеїти в протокол.

Диференційна дилатограма матеріалу: _____



II. Визначення температури критичних точок.

На отриману дилатограму накладається градувальна сітка (якщо запис дилатограми виконувався не на сітці). За допомогою градувальної сітки встановлюються температури критичних точок при нагріві та охолодженні зразка. Результати заносять до таблиці 8.2. Теоретичні значення беруться з таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Температури критичних точок в сталях

Марка сталі	Критичні точки, °C			
	A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}	A_{r3}
Армко	—	910		
10	730	874	680	954
20	735	854	682	835
40	727	788	690	727
У7	730	770	693	727
У8	730	—	698	—
У10	730	800		
У12	730	820		

Таблиця 8.2 – Визначення температур критичних точок досліджуваного матеріалу

Матеріал	Критичні точки, °C							
	A_{c1}		A_{c3}		A_{r1}		A_{r3}	
	практ.	теор.	практ.	теор.	практ.	теор.	практ.	теор.

III. Розрахунок істинного коефіцієнта термічного розширення матеріалу.

Розрахунок проводиться за методикою, викладеною в п. 3.2.2 посібника [1]. Температуру задає викладач. Значення коефіцієнтів збільшення беруть з попередньої роботи. Різницю розширень піроса та кварца беруть з таблиці 7.1 для відповідної температури. Істинний коефіцієнт термічного розширення визначають за формулою (8.1):

$$\alpha_3 = \alpha_e + \frac{K_1}{K_2} (\alpha_e - \alpha_k) \frac{dY'}{dx} \quad (8.1)$$

Результати розрахунків та всі необхідні дані заносяться до таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Визначення істинного коефіцієнта термічного розширення матеріалу

Матеріал	Температура, °C	Коефіцієнт збільшення		$(\alpha_e - \alpha_k) \times 10^6$	$\frac{dY'}{dx}$	α_3
		K_1	K_2		$\operatorname{tg} \varphi$	

IV. Розрахунок середнього коефіцієнту термічного розширення в кожному з температурних інтервалів при нагріві зразка.

Розрахунок проводиться за методикою, викладеною в п. 3.2.3 посібника [1]. Температурний інтервал в кожній з трьох областей диференційної дилатометричної кривої задає викладач. Значення коефіцієнта збільшення K_2 беруть з попередньої роботи. Коефіцієнт термічного розширення кварцу відомий (лаб. роб. № 7). Різницю $Z_2 - Z_1$ визначають в мм за дилатометричною кривою. Початкова довжина зразка – 50 мм. Середній коефіцієнт термічного розширення визначають за формулою (8.2):

$$\overline{\alpha}_3 = \overline{\alpha}_k + \frac{Z_2 - Z_1}{K_2 l_3 (T_2 - T_1)} \quad (8.2)$$

Результати розрахунків та всі необхідні дані заносяться до таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Визначення середнього коефіцієнта термічного розширення матеріалу

Температурний інтервал, °C		Коефіцієнт збільшення	Положення ділянки кривої			$\overline{\alpha}_3$
границі	$T_2 - T_1$		Z_1	Z_2	$Z_2 - Z_1$	

V. Оцінка дилатометричного ефекту фазового перетворення.

Розрахунок проводиться за методикою, викладеною в п. 3.2.4 посібника [1]. Для цього необхідно:

1) продовжити першу ділянку дилатометричної кривої до температури кінця фазового перетворення (відрізок *ae*);

2) ділянку нагріву зразка після фазового перетворення продовжити до температури початку перетворення (відрізок *if*);

3) знайти середину температурного інтервалу перетворення. Опустити перпендикуляр до перетину з відрізком *if*;

4) виміряти довжину частини перпендикуляру між відрізками *ae* та *if* (відрізок *cg*);

5) з використанням масштабної лінійки по осі *OY* (величини η з лаб. роб. № 7) визначити дилатометричний ефект фазового перетворення у відсотках видовження зразка;

6) результати розрахунків та всі необхідні дані занести до таблиці 8.5.

Таблиця 8.5 – Оцінка дилатометричного ефекту фазового перетворення

Фазове перетворення	Температурний інтервал перетворення, °C	Середина температурного інтервалу, °C	Довжина відрізка <i>cg</i> , мм	Дилатометричний ефект фазового перетворення, %

VI. Визначення залежності величини дилатометричного ефекту від вмісту вуглецю в сталі.

Для порівняння використовуються власні розрахунки дилатометричного ефекту та дані інших бригад. Вся інформація заноситься до таблиці 8.6. За результатами аналізу даних робляться висновки.

Таблиця 8.6 – Порівняння дилатометричних ефектів фазового перетворення в сталях

Сталь	Вміст вуглецю, %	Температурний інтервал перетворення, °C	Дилатометричний ефект фазового перетворення, %

4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися стандартних правил безпеки при роботі з обладнанням, наведених у додатку А.

5 Перелік літератури

5.1 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 91-123.

2. *Геллер Ю.А.* Материаловедение (методы анализа, лабораторные работы и задачи) / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1975. – 448 с. – С.103-110.

5.2 Додаткова

1. *Богданова А.Ф.* Методические указания к лабораторным работам

по курсу «Физические методы исследования металлов». Часть III. Раздел «Дилатометрические и тепловые методы» / Сост. А.Ф. Богданова, В.Г. Тиняев. – К.: КПИ, 1989. – 40 с. – С. 10-18.

2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Фізичні властивості металів» / В.Л. Грешта, О.В. Климов, О.А. Глотка, Д.В. Ткач. – ЗНТУ, 2010. – 82 с. – С. 27-34.

3. Журавлев Л.Г. Физические методы исследования металлов и сплавов: Учеб. пособие / Л.Г. Журавлев, В.И. Филатов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 157 с. – С. 43-52.

4. Лившиц Б.Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Липецкий – М.: Металлургия, 1980. – 320 с. – С. 279-287.

5. Черепин В.Т. Экспериментальная техника в физическом металловедении / В.Т. Черепин – К.: Техника, 1968. – 186 с.

6 Формулювання висновків

Висновки щодо встановленого рівня величин повинні давати відповіді на питання:

1. Чи опанована методика диференційного дилатометричного аналізу та в чому це полягає.

2. Чи був досліджуваний зразок попередньо загартований, та як це було встановлено.

3. Чи співпадають експериментально визначені температури критичних точок з літературними даними, якщо ні – пояснити чому.

4. Чи співпадає експериментально визначений істинний коефіцієнт термічного розширення фази з літературними даними, якщо ні – чому?

5. Чи співпадає експериментально визначений середній коефіцієнт термічного розширення фази з істинним для температури з того ж інтервалу.

6. Який дилатометричний ефект фазового перетворення у досліджуваного матеріалу.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. The paper has a slight shadow on the right side, suggesting it's resting on a surface.

ПРОТОКОЛ

Лабораторної роботи № 9

Студент _____	група _____
Допуск _____	Дата _____
	Підпис _____
	викладача
Захищено _____	Дата _____
з оцінкою	Підпис _____
	викладача

Тема роботи:

«РЕЗИСТОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ»

Мета: опанування методики вимірювання електричного опору матеріалів, набуття практичного досвіду виявлення впливу будови провідникових матеріалів на їх електричні властивості та визначення температур фазових перетворень в багатошарових плівкових композиціях.

1 Теоретичні відомості

Фізичні принципи, що лежать в основі резистометричного аналізу, наведено у навчальному посібнику [1] в темі №5 «Резистометричні дослідження металевих матеріалів» на сторінках 124-141.

2 Устаткування, прилади та матеріали

При виконанні даної лабораторної роботи пропонується визначити опір зразків за чотиризондовою методикою. Блок-схему для вимірювання електроопору за даною методикою наведено на рисунку 9.1.

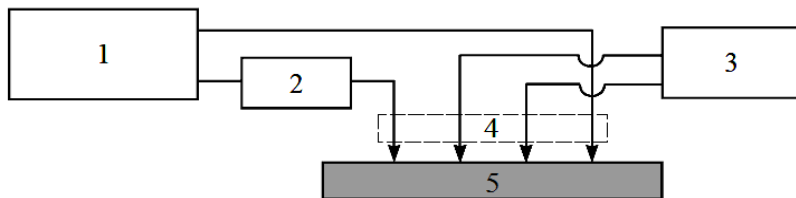


Рисунок 9.1 – Блок-схема установки: **1** – джерело постійного струму, **2** – вимірювач сили та напрямку струму, **3** – вимірювач напруги, **4** – чотиризондова голівка, **5** – зразок

Вимірювання питомого електричного опору мають проводитися на зразках, що мають плоску поверхню незначної шорсткості. Розміри зразків ретельно вимірюються перед встановленням зразка до чотиризондової голівки. Відстань між всіма зондами має бути однакою та точно відома, тому положення зондів обираються за допомогою штангенциркуля.

3 Хід виконання лабораторної роботи

1. Встановити нанорозмірну плівкову композицію Pt/Fe під зонди для вимірювання електроопору в установці ВУП-5М.

2. Відкачати повітря з вакуумної камери до тиску 10^{-2} Па.

3. Заміряти електричний поверхневий опір плівкового матеріалу у вихідному стані (до термічної обробки) – R_0 . Оскільки для зменшення похибки вимірювання в даній роботі буде визначатися нормований опір R/R_0 , а температури фазових перетворень будуть досліджуватися за перегинами на кривій $R/R_0(T)$, то для зручності можна не перераховувати вимірне падіння напруги у електроопір, а будувати криву у координатах $U/U_0(T)$ (зважаючи на закон Ома, дана крива буде мати таку саму форму, як і крива $R/R_0(T)$).

4. Провести термічну обробку зразка, для чого необхідно увімкнути ЛАТР у мережу живлення і збільшенням напруги розігріти електропіч у вакуумній камері. Збільшувати напругу на ЛАТРі необхідно до тих пір, поки температура зразка не становитиме 500°C .

5. Занести до таблиці 9.1 покази підведеної до поверхні зразка термопары у мВ та °С та значення напруги між зондами 2 і 3.

Таблиця 9.1 – Визначення електричного опору

Термо ЕРС, мВ	Темпе- ратура, °С	Напруга, мВ	Термо ЕРС, мВ	Темпе- ратура, °С	Напруга, мВ	Термо ЕРС, мВ	Темпе- ратура, °С	Напруга, мВ
0,40	10		7,33	180		14,29	350	
0,80	20		7,73	190		14,71	360	
1,20	30		8,13	200		15,13	370	
1,61	40		8,54	210		15,55	380	
2,02	50		8,94	220		15,98	390	
2,43	60		9,34	230		16,40	400	
2,85	70		9,75	240		16,82	410	
3,26	80		10,16	250		17,24	420	
3,68	90		10,57	260		17,67	430	
4,10	100		10,98	270		18,09	440	
4,51	110		11,39	280		18,51	450	
4,92	120		11,80	290		18,94	460	
5,33	130		12,21	300		19,36	470	
5,73	140		12,63	310		19,79	480	
6,13	150		13,04	320		20,22	490	
6,53	160		13,46	330		20,65	500	
6,93	170		13,88	340				

6. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення побудувати залежність нормованого електричного опору ($\frac{R}{R_0} \approx \frac{U}{U_0}$) від температури термічної обробки (роздрукувати і вклеїти графік залежності в протокол).

7. Зробити висновки щодо фазових перетворень у плівкових композиціях за наявності перегинів на кривій.

4 Заходи безпеки

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися стандартних правил безпеки при роботі з обладнанням, наведених у додатку А.

5 Перелік літератури

5.2 Основна

1. *Холявко В.В.* Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів / В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – С. 91-123.

2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Фізичні властивості металів» для студентів спеціальності 6.050403 «Прикладне матеріалознавство» денної і заочної форм навчання / Укл.: Грешта В.Л., Климов О.В., Глотка О.А., Ткач Д.В. – ЗНТУ, 2010. – 82 с. – С. 16-26.

3. *Введенский В.Ю.* Физические методы исследования конструкционных наноматериалов: Учебно-методический комплекс дисциплины / В.Ю. Введенский. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2010. – 223 с. – С.104-117.

5.2 Додаткова

1. *Журавлёв Л.Г.* Физические методы исследования металлов и сплавов: Учебное пособие для студентов металлургических специальностей / Л.Г. Журавлёв, В.И. Филатов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2004. – 157 с. – С.54-79.

2. Методичні вказівки до лабораторних робіт «Визначення питомого електричного опору однорідних напівпровідників і тонких напівпровідникових шарів» з розділу «Контактні та безконтактні методи визначення питомого електричного опору напівпровідників» дисципліни

«Фізичні методи дослідження матеріалів» для студентів напряму підготовки 6.050801 «Мікро- та наноелектроніка» / Уклад.: Копач В.Р., Хрипунов Г.С., Кіріченко М.В., Зайцев Р.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – 48 с.

3. Баранов В.В. Лабораторные работы по дисциплине «Материаловедение» для студ. спец. «Проектирование и производство РЭС», «Электронно-оптическое аппаратостроение», «Медицинская электроника» всех форм обучения: Ч. 2 / В.В. Баранов, Г.М. Шахлевич, Е.В. Телеш. – Мн.: БГУИР, 2003. – 52 с. – С. 4-12.

4. Федосенко Н.Н. Свойства пленок: Практ. пособ. по вып. лаб. работ для студентов 3-го курса специальности 1-31 04 01-02 «Физика (производственная деятельность)» / Н.Н. Федосенко. – Мин. образ., Гомель: УО «ГТУ им. Ф. Скорины», 2008. – 64с. – С.48-62.

6 Формулювання висновків

Висновки щодо встановленого рівня величин повинні давати відповіді на питання:

1. Чи опановані методики визначення опору матеріалів і в чому це полягає.

2. Як змінюється електричний опір шаруватих нанорозмірних плівкових композицій при їх термічній обробці.

3. Визначити вплив хімічного складу та структури на електричний опір досліджуваних матеріалів.

Висновки: _____

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1. ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ:

1.1. При проведенні занять студенти повинні дотримуватися правил поведінки, розкладу навчальних занять та графіку виконання робіт.

1.2. Протягом занять студенти мають виконувати правила пожежної безпеки, особистої гігієни, тримати в чистоті робоче місце, знати місця розташування первинних засобів пожежогасіння.

1.3. В разі виникнення надзвичайної ситуації чи нещасного випадку необхідно негайно сповістити про це викладача або лаборанта і діяти у відповідності до ситуації, що склалася (надати першу допомогу постраждалому, покинути приміщення тощо).

1.4. Студенти, що допустили порушення правил техніки безпеки чи інструкції по виконанню роботи відстороняються від виконання лабораторної роботи, притягаються до відповідальності і з усіма студентами проводиться повторний інструктаж з техніки безпеки.

1.5. ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

- приходити до лабораторії у верхньому одязі;
- вживати їжу чи напої в приміщенні лабораторії;
- розмовляти по мобільному телефону;
- класти сумки та інші особисті речі на столи та лабораторне устаткування.

II. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ:

2.1. До виконання лабораторних робіт допускаються лише ті студенти, що пройшли інструктаж з техніки безпеки та мають відповідний запис у відповідному журналі обліку, який підтверджується особистими підписами студентів.

2.2. Перед початком роботи необхідно ознайомитися зі змістом, порядком проведення та особливостями безпечного виконання лабораторної роботи, отримати у лаборанта зразки для випробувань.

2.3. Підготувати до роботи робоче місце, забрати сторонні предмети. Прилади та обладнання розташувати таким чином, щоб унеможливити їх падіння чи перекидання.

2.4. ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

- вмикати лабораторне устаткування без дозволу лаборанта або викладача;
- тримати на робочому місці предмети, що не потрібні при виконанні завдання.

III. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ РОБОТИ:

3.1. Потрібно дбайливо ставитися до приладів та устаткування, що забезпечить їх надійну роботу і унеможливить нещасні випадки.

3.2. Потрібно точно виконувати всі настанови викладача чи лаборанта, без його дозволу не виконувати самостійно будь-які дії.

3.3. Слідкувати за справністю всіх кріплень в приладах, не нахилятися низько над тими частинами машин та механізмів, що рухаються.

3.4. Наявність напруги в електричному ланцюгу перевіряти лише за допомогою приладів.

3.5. Не допускати максимального навантаження вимірювальних пристроїв.

3.6. Користуватися інструментами з ізольованими ручками.

3.7. При роботі з рідинами не смакувати їх, не розбризкувати та не розливати.

3.8. При роботі з лінзами працювати обережно та акуратно, не направляти їх на легкозаймисті предмети.

3.9. ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

- виконувати роботу за відсутності викладача чи лаборанта;
- залишати без нагляду працююче обладнання;
- доторкатися до елементів електричного обладнання, що знаходяться під напругою.

IV. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПО ЗАКІНЧЕННЮ РОБОТИ:

4.1. Після закінчення виконання лабораторної роботи необхідно вимкнути обладнання.

4.2. Навести порядок на робочому місці, здати викладачу чи лаборанту зразки та інші матеріали, що використовувалися.

4.3. Отримати у викладача відмітку про виконання експериментальної частини роботи.

4.4. ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

- залишати без нагляду працююче обладнання;
- виходити з лабораторії без дозволу викладача чи лаборанта.

V. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ В АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ:

5.1. При виявленні несправності в роботі електричних приладів, що знаходяться під напругою, підвищеному їх нагріванні, появі іскріння, запаху горілої ізоляції тощо необхідно одразу вимкнути джерело живлення та повідомити викладача чи лаборанта.

5.2. У випадку розбиття лабораторного посуду чи скляних приладів не збирати уламки незахищеними руками, а використати віник і совок.

5.3. При розливанні легкозаймистої рідини або її займанні негайно повідомити про це викладача чи лаборанта та діяти у відповідності до його наказів.

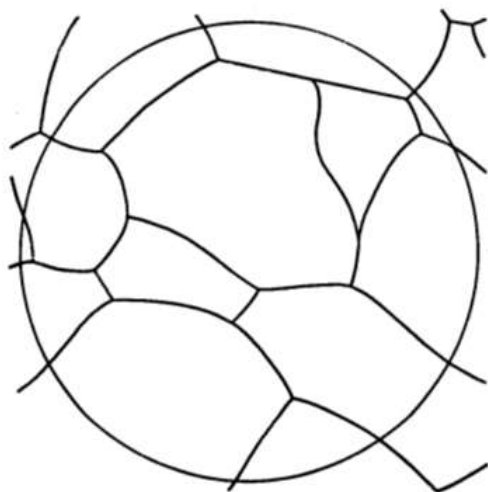
5.4. При розливанні хімічних речовин виконати кроки для їх нейтралізації та промити великою кількістю води.

5.5. В разі виникнення пожежі негайно повідомити про це викладача та лаборанта і покинути приміщення у встановленому порядку.

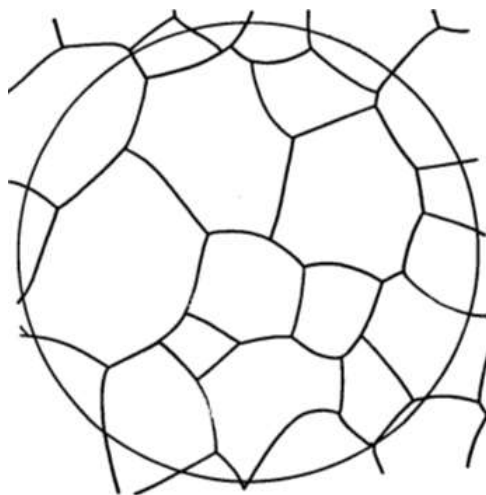
5.6. При травмуванні себе або оточуючих повідомити викладача та надати постраждалим першу допомогу. За необхідності викликати швидку допомогу.

ДОДАТОК Б

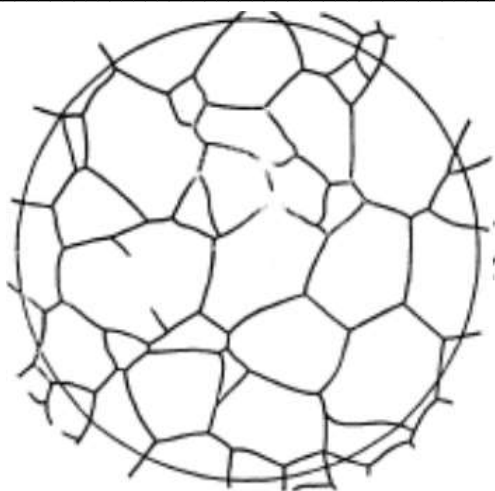
Стандартна шкала бальної оцінки розміру зерна



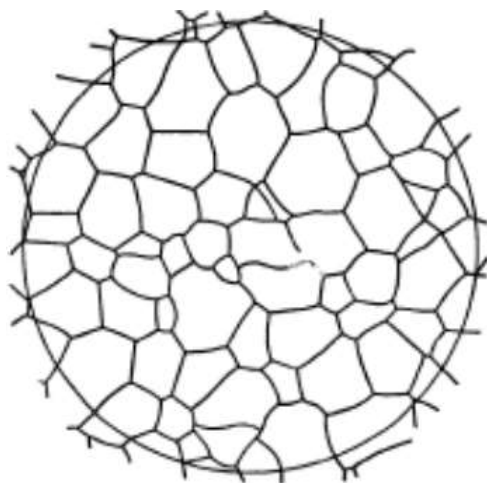
1



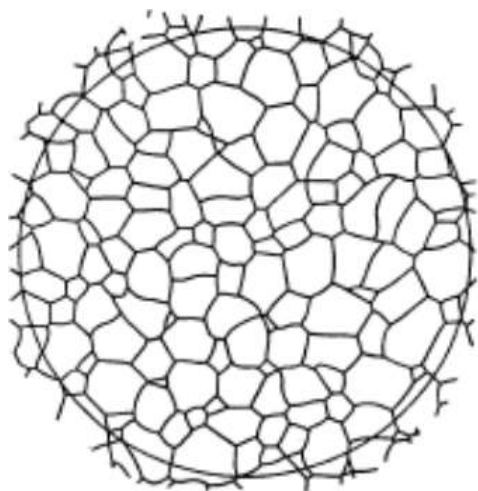
2



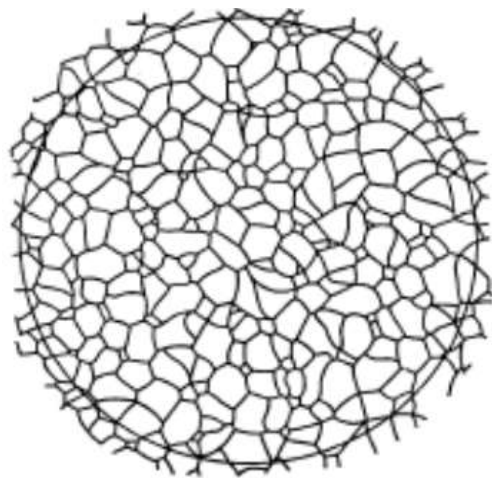
3



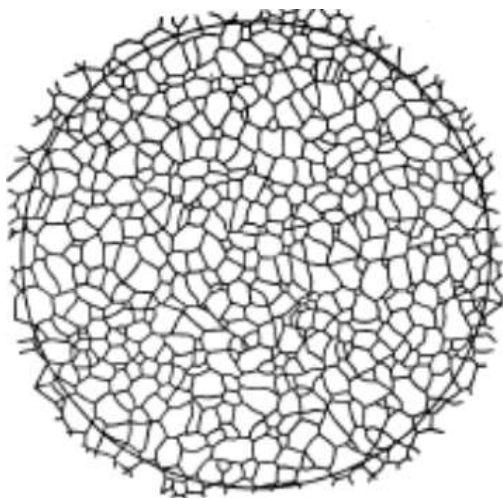
4



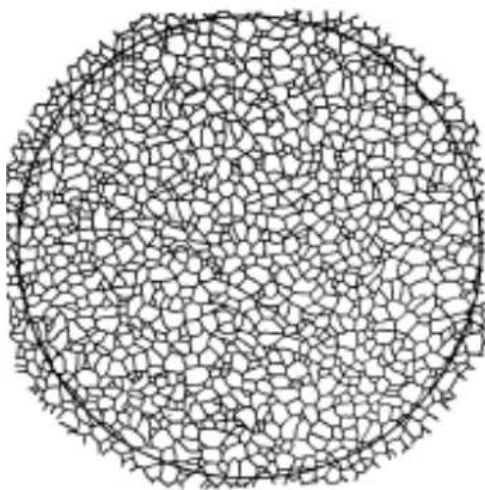
5



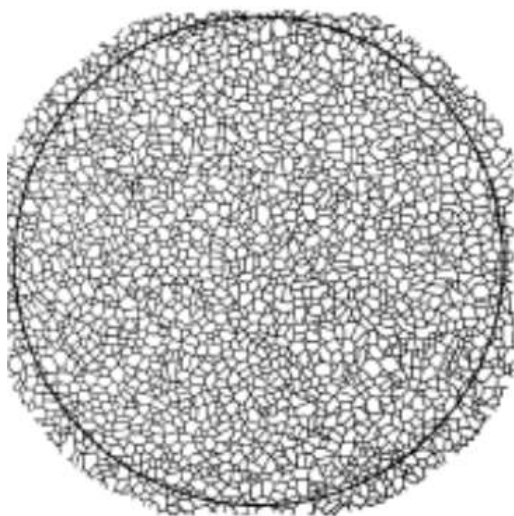
6



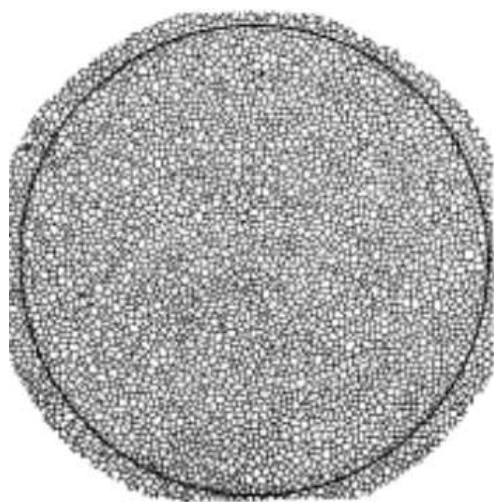
7



8



9



10

ДОДАТОК В

Обробка результатів вимірювань

Для характеристики точності визначення середніх значень в більшості випадків достатньо визначення середнього квадратичного відхилення σ_X . При n вимірюваннях величини X , яка має середнє значення, маємо:

$$\bar{X} = \sum^n X_i / n$$

Тоді середнє квадратичне відхилення σ_X отримують за формулою:

$$\sigma_X = \left[\frac{\sum^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)} \right]^{1/2}$$

Значення результату слід записати у вигляді:

$$X = \bar{X} \pm t \sigma_{\bar{X}},$$

де t – коефіцієнт Стьюдента, який для різних n має наступні значення:

n	3	5	10	20
t (для надійності 0,95).....	3,18	2,57	2,23	1,96

Навчальне видання

Валерія Вікторівна ХОЛЯВКО
Ігор Анатолійович ВЛАДИМИРСЬКИЙ
Олена Олексіївна ЖАБИНСЬКА

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт

для студентів
напряму 132 «Матеріалознавство»
денної та заочної форм навчання

Анотація до методичних вказівок до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Фізичні методи дослідження матеріалів». Укладачі В.В. Холявко, І.А. Владимирський, О.О. Жабинська.

Методичні вказівки містять шаблони протоколів та покрокові інструкції до виконання лабораторних робіт. Наведені запитання для формулювання висновків та схема їх написання, представлена у вступній частині, дозволять студентам повноцінно опанувати компетентність з аналізу та узагальнення експериментальних даних.

Дисципліна «Фізичні методи дослідження матеріалів» була модернізована в рамках TEMPUS проекту «Модернізація навчальних планів дворівневої програми підготовки (бакалаври/магістри) з інженерного матеріалознавства на основі компетентнісного підходу та найкращого досвіду з впровадження положень Болонського процесу («MMATENG»)).

Видання може бути корисним при вивченні будь-яких матеріалознавчих спеціальностей.

Abstract Methodological guidelines on the laboratory workshop «Physical methods of materials investigation». Authors: V.V. Holyavko, I.A. Vladymyrskyi, O.O. Zhabynska.

This methodological guidelines contain protocols templates and step by step instructions for the performance of laboratory works. Scheme of conclusions writing was presented and allow students to reach the competence of experimental data analysis and generalization.

«Physical methods of materials investigation» discipline was upgraded in the framework of the TEMPUS Project “Modernization of two-level (bachelors/masters) study program in engineering materials science on the basis of competence approach and best experience of Bologna process implementation («MMATENG»)).

This publication could be useful for the studying of any materials science specialty.

Аннотация к методическим указаниям к выполнению лабораторных работ дисциплины «Физические методы исследования материалов». Составители В.В. Холякко, И.А. Владимирский, Е.А. Жабинская.

Методические указания содержат шаблоны протоколов и пошаговые инструкции к выполнению лабораторных работ. Приведенные вопросы для формулирования выводов и схема их написания, представленная во вступительной части, позволят студентам полноценно освоить компетентность по анализу и обобщению экспериментальных данных.

Дисциплина «Физические методы исследования материалов» была модернизирована в рамках TEMPUS проекта «Модернизация учебных планов двухуровневой программы подготовки (бакалавры/магистры) по инженерному материаловедению на основе компетентного подхода и лучшего опыта по внедрению положений Болонского процесса («MMATENG»)).

Издание может быть полезным при изучении любых материаловедческих специальностей.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Валерія Вікторівна ХОЛЯВКО
Ігор Анатолійович ВЛАДИМИРСЬКИЙ
Олена Олексіївна ЖАБИНСЬКА

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

*Для студентів вищих
навчальних закладів, які навчаються за напрямом
галузі знань 13 – Механічна інженерія
спеціальності 132 – Матеріалознавство
денної та заочної форм навчання*

Друкується в авторській редакції

Підписано до друку 19.12.2016 р. Формат 60х84 1/16.
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 5,63. Тираж 300 прим.

ТОВ «Видавництво «Центр учбової літератури»
вул. Електриків, 23 м. Київ 04176
тел./факс 044-425-01-34
тел.: 044-425-20-63; 425-04-47; 451-65-95
800-501-68-00 (безкоштовно в межах України)

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 4162 від 21.09.2011 р.