

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»  
 (найменування кафедри, яка відповідає за дисципліну)



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан ІФФ Олександр КЛИМОВ

2024 року

**ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ОК 31 МЕТОДИ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ МАТЕРІАЛІВ**

(шифр за відповідною освітньою програмою та назва навчальної дисципліни)

освітня програма (спеціалізація) «Прикладне матеріалознавство»  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

спеціальність 132 «Матеріалознавство»  
 (код і найменування спеціальності)

галузь знань 13 «Механічна інженерія»  
 (код і найменування галузі)

ступінь вищої освіти Перший (бакалаврський) рівень  
 (назва ступеня вищої освіти)

2024 рік

програма з дисципліни Методи структурного аналізу матеріалів  
(назва навчальної дисципліни)

спеціальності 132 «Матеріалознавство»  
(код і найменування спеціальності)

освітня програма (спеціалізація) ”Прикладне матеріалознавство”  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

Розробник: Глотка О.А., доцент кафедри фізичного матеріалознавства, к.т.н., доцент  
(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Програма погоджена:

Завідувач кафедри  
фізичного матеріалознавства



Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ

22.08 2024

Гарант освітньої програми



Валерій ВІНЧЕНКО

(імя прізвище)  
22.08 2024

Схвалено науково-методичною комісією інженерно-фізичного факультету  
(найменування факультету)

Протокол від «22» серпня 2024 року № 1

Голова науково-методичної комісії



Олександр КЛИМОВ

(імя прізвище)  
22.08 2024

## 1. Опис навчальної дисципліни

### Загальна характеристика

<b>Обов'язковий освітній компонент</b>	
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський) рівень
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Обмеження щодо форм навчання	Без обмежень

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів	5	
Модулів	1	1
Змістових модулів	2	2
Семестр	5	5
Загальна кількість годин	150	
з них аудиторних:	60	14
<i>лекції</i>	30	8
<i>практичні</i>	-	-
<i>лабораторні</i>	30	6
<i>семінарські</i>	-	-
з них самостійної роботи:	90	136
Занять на тиждень	4	14
Індивідуальні завдання		
Форма контролю	залік	
Курсова робота (загальний обсяг)	30	

## 2. Мета навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є формування професійних компетенцій в області матеріалознавства, зокрема в областях сучасних методів структурного аналізу для дослідження та розробки нових матеріалів, а також вирішення питань контролю якості матеріалів..

## 3. Завдання вивчення дисципліни

Основне завдання навчальної дисципліни набуття і розвинення знань та практичних навичок використання сучасних методів дослідження матеріалів; аналіз результатів конкретних досліджень кристалічної будови та змін, що відбуваються у матеріалах під впливом технологічних обробок.

## 4. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни

Пререквізити: (перелік компетентностей та програмних результатів навчання).  
У результаті вивчення компоненту студент повинен отримати:

### загальні компетентності:

- K3.01.Здатність до системного мислення, аналізу та синтезу
- K3.05. Здатність приймати обґрунтовані рішення
- K3.06.Здатність до адаптації та дії в новій ситуації
- K3.07.Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій

### спеціальні (фахові) компетентності:

КС.01.Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань

КС 03. Здатність продемонструвати розуміння питань використання технічної літератури та інших джерел інформації в галузі матеріалознавства

КС.07. Здатність продемонструвати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства

КС.09.Здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем

КС.14.Здатність дотримуватися професійних і етичних стандартів

КС 15 Здатність застосовувати знання технічних характеристик, умов роботи, для вибору контрольно-вимірювальних приладів;

КС18. Здатність застосовувати та демонструвати базові знання з фундаментальних розділів фізики твердого тіла, фазових рівноваг для розуміння процесів формування структури і властивостей матеріалів, прогнозування їх експлуатаційних характеристик та розробки новітніх технологій виробництва перспективних матеріалів.

### **Очікувані програмні результати навчання:**

PH2 Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

PH9 Уміти експериментувати та аналізувати дані.

PH14 Використовувати у професійній діяльності експериментальні методи дослідження структурних, фізико-механічних, електрофізичних, магнітних, оптичних і технологічних властивостей матеріалів.

PH19 Обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.

PH22 Використовувати базові методи аналізу речовин, матеріалів та відповідних процесів з коректною інтерпретацією результатів.

## **5. Зміст навчальної дисципліни**

**Змістовий модуль 1. Основи фізики рентгенівських променів. Теорія дифракція на досконалих кристалах.**

**Тема 1. Вступ. Основи фізики рентгенівських променів.**

Вступ. (предмет, задачі та зміст дисципліни). Роль дифракційних та електроннооптичних методів дослідження структури у розвитку фізичних основ матеріалознавства. Природа та властивості рентгенівських променів. Устрій та принцип роботи рентгенівської трубки. Рівняння Вульфа-Брега, його фізична суть. Квантова теорія суцільного спектра. Збудження та закономірності характеристичного спектра. Закон Мозлі. Методи монохроматизації.

**Тема 2. Теорія дифракція на досконалих кристалах. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів.**

Дифракція рентгенівських променів, розсіяних атомним рядом, площиною, тривимірною ґраткою. Рівняння дифракції Лауе. Обернена ґратка як математичний і геометричний образ для опису дифракції. Сфера відбиття Евальда. Узагальнене векторне рівняння дифракції і його графічна інтерпретація. Використання дифракції рентгенівських променів для дослідження матеріалів. Характеристика основних методів (метод Лауе, метод обертання монокристала, метод полікристала).

**Тема 3. Інтенсивність дифракційних максимумів.**

Фактори, що впливають на інтенсивність дифракційних ліній на рентгенограмах. Атомний фактор. Структурна амплітуда та структурний фактор. Фактори повторюваності, кутовий, поляризаційний, поглинання. Загальне рівняння для обчислювання інтенсивності дифракційних ліній. Реєстрація рентгенівських променів і вимір їх інтенсивності.

## **Змістовий модуль 2. Дефекти кристалічної будови**

### **Тема 4. Методи рентгеноструктурного аналізу.**

Визначення речовини, типу та розміру кристалічних ґраток. Індексуювання дифракційних ліній. Загальні принципи прецизійного визначення параметрів елементарної комірки. Дослідження діаграм стану. Визначення лінії обмеженої розчинності у двокомпонентних системах. Аналіз твердих розчинів. Дослідження впорядкування в твердих розчинах.

Якісний та кількісний фазовий аналіз. Фактори, що впливають на чутливість аналізу. Вибір умов зйомки і підготовка зразків. Основні методи кількісного фазового аналізу (гомологічних пар, підмішування, незалежного еталону). Визначення кількості залишкового аустеніту в загартованій сталі. Особливості аналізу карбідних та інтерметалідних фаз.

Рентгеноструктурний аналіз перетворень, що відбуваються при гартуванні сталей. Структура мартенситу, аналіз рентгенограм мартенситу. Визначення вмісту вуглецю в мартенситі після гартування. Аналіз процесів відпускання загартованої сталі.

Рентгенівський аналіз зовнішніх макронапружень. Дослідження розмірів субзеренних структурних складових та внутрішніх напружень. Рентгенографічне дослідження структурних змін, що відбуваються при нагріванні деформованого металу. Дослідження кінетики процесу рекристалізації.

### **Тема 5. Рентгеноспектральний аналіз і растрова електронна мікроскопія.**

Методи рентгеноспектрального аналізу (емісійний, флуоресцентний, абсорбційний). Устрій і основні блоки та їх призначення в растровому електронному мікроскопі із мікроаналізатором. Види сигналів, що виникають при взаємодії електронного зонда із поверхнею зразка. Формування і реєстрація характеристичного випромінювання в режимі сканування. Рентгеноспектральний аналіз хімічного складу мікрооб'єктів і поверхневих шарів.

Використання вторинних і розсіяних (відбитих) електронів для дослідження структури. Схема зміни характеру розсіяння електронів в залежності від порядкового номера елемента. Контраст за хімічним складом і топографічний контраст. Електронно-фрактографічний аналіз поверхні зламів.

### **Тема 6. Електроннооптичні методи дослідження структури матеріалі.**

Електронна мікроскопія. Устрій і оптична схема просвічувального електронного мікроскопа. Особливості розсіяння електронів речовиною. Порівняльна характеристика дифракції рентгенівських променів та електронів.

Дифракція електронів на моно- та полікристалах. Аналіз електроннограм, розрахункові формули. Основні напрямки використання дифракції електронів.

Формування зображення в електронному мікроскопі при просвічуванні. Аналіз дислокаційної і субзеренної структури.. Приготування фольг і реплік для дослідження структури.

Рішення практичних задач матеріалознавства при комплексному дослідженні структури матеріалів за допомогою оптичної і електронної мікроскопії, рентгеноструктурного аналізу, мікродифракції та мікрорентгеноспектрального аналізу.

### 6. Орієнтовний розподіл навчального часу

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		лк	пр	лаб	інд	с.р.		лк	пр	лаб	інд	с.р.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
<b>Змістовий модуль 1 Геометрична і структурна кристалографія</b>												
Тема 1. Вступ. Основи фізики рентгенівських променів.	18	2		2		14	18					18
Тема 2 Теорія дифракція на досконалих кристалах. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів.	28	6		6		16	28	2		2		24
Тема 3 Інтенсивність дифракційних максимумів.	28	6		6		16	28	2				26
Разом за змістовим модулем 1	<b>74</b>	<b>14</b>		<b>14</b>		<b>46</b>	<b>74</b>	<b>4</b>		<b>2</b>		<b>68</b>
<b>Змістовий модуль 2 Дефекти кристалічної будови</b>												
Тема 8 Методи рентгеноструктурного аналізу.	32	6		8		18	32			4		28
Тема 9 Рентгеноспектральний аналіз і растрова електронна мікроскопія.	24	6		4		14	24	2				22
Тема 10 Електроннооптичні методи дослідження структури матеріалів.	20	4		4		12	20	2				18
Разом за змістовим модулем 2	<b>76</b>	<b>16</b>		<b>16</b>		<b>44</b>	<b>76</b>	<b>4</b>		<b>4</b>		<b>68</b>
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>30</b>		<b>30</b>		<b>90</b>	<b>150</b>	<b>8</b>		<b>6</b>		<b>136</b>



## 7. Теми лабораторних занять.

№ з/п	Тема	Кількість годин
1	Ознайомлення з устроєм і роботою рентгенівських трубок та установок	2
2	Зйомка рентгенограм за методом Дебая-Шерера.	2
3	Визначення речовини, типу ґратки та параметра елементарної комірки.	2
4	Побудова границі розчинності у сплавах системи Cu-Sn.	2
5	Кількісний фазовий аналіз. Визначення кількості залишкового аустеніту в сталі X12M після гартування	4
6	Дослідження впливу легування на кінетику процесів рекристалізації.	4
7	Визначення мікронапружень, розміру блоків (субзерен) і густини дислокацій	4
8	Теоретичний розрахунок і побудова рентгенограм полікристала в камерах РКД та КРОС.	2
9	Аналіз мікроструктури матеріалів за допомогою растрового електронного мікроскопа з рентгенівським мікроаналізатором	4
10	Визначення структурних характеристик дисперсійно-зміцнених сплавів за даними електронномікроскопічних досліджень	4
	<b>Усього</b>	<b>30</b>

## 8. Форми та методи контролю

Методами контролю є: усний контроль (усне опитування), письмовий, тестовий, графічний, програмований контроль, практична перевірка, а також методи самоконтролю і самооцінки.

## 9. Критерії оцінювання результатів навчання

**Оцінювання:** за результатами засвоєння дисципліни складається екзамен. У разі відвідування всіх занять і своєчасного виконання всіх видів робіт може здійснюватися контроль навчання за умови активної роботи студентів на лекціях. Для студентів денної форми навчання проводиться тестування на лабораторних заняттях, аудиторна контрольна робота. Для кінцевого контролю використовується наступна схема оцінювання розподілу балів (за засвоєння тем курсу) з отриманням підсумкової середньозваженої оцінки:

## 10. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота						Оцінка
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2			
T1	T2	T3	T4	T5	T6	
14	18	18	18	18	14	100

T1, T2 ... T6 – теми змістових модулів.

## виконанні курсового проекту

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
до 40	до 30	до 30	100

Позитивними оцінками для всіх форм контролю є оцінки від 60 до 100 балів за 100-бальною шкалою та оцінка «зараховано» за двобальною. Межею незадовільної оцінки за результатами підсумкового контролю є оцінка нижче 60 балів за 100-бальною шкалою або оцінка «не зараховано» за двобальною шкалою. Отримання оцінки 60 балів та вище або оцінки «зараховано» передбачає отримання позитивних оцінок за всіма, визначеними програмою освітнього компонента, обов'язковими видами поточного, проміжного (рубіжного) контролю

### 11. Політика курсу

Політика курсу ґрунтується на тісній взаємодії викладача і студента, регулярному спілкуванні з метою допомоги при вивченні курсу. При цьому передбачається обов'язкове відвідування занять і виконання запланованих завдань у встановлені терміни. Виконання завдань пізніше встановленого терміну допускається лише після відпрацювання студентом передбачених навчальним планом робіт. Студент повинен дотримуватися політики академічної доброчесності. Академічна доброчесність визначається Кодексом академічної доброчесності Національного університету «Запорізька політехніка» [https://zp.edu.ua/uploads/dept\\_nm/Nakaz\\_N253\\_vid\\_29.06.21.pdf](https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Nakaz_N253_vid_29.06.21.pdf).

### 12. Методичне забезпечення

1. Конспект лекцій з дисципліни «Методи структурного аналізу матеріалів» - <https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=2217>
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт - <https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=2217>

### 13. Перелік навчальної, наукової та довідкової літератури

1. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. К.: Либідь, 2002. — 328 с. [ISBN 966-06-0247-2](https://doi.org/10.1016/j.tsm.2002.02.002)
2. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум [Текст]: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. за напрямом «Інж. механіка»] / В. В. Попович, А. І. Кондир, Е. І. Плешаков та ін. — Львів: Світ, 2009. — 551 с. — [ISBN 978-966-603-401-7](https://doi.org/10.1016/j.tsm.2009.01.001)

3. Матеріалознавство [Текст]: підручник / [Дяченко С. С., Дощечкіна І. В., Мовлян А. О., Плешаков Е. І.] ; ред. С. С. Дяченко ; Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т. — Х. : ХНАДУ, 2007. — 440 с. — [ISBN 978-966-303-133-0](#)
4. Конспект лекцій з дисципліни “Методи структурного аналізу матеріалів” для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство” денної і заочної форми навчання / Укл. О.А. Глотка, Л.П. Степанова. - Запоріжжя ЗНТУ, 2018. – 89 с.
5. Методичні вказівки та завдання до лабораторних і контрольних робіт та курсової роботи з дисципліни “Методи структурного аналізу матеріалів” для студентів спеціальності 132 “Матеріалознавство” денної і заочної форми навчання / Укл.: В. Ю. Ольшанецький, Л.П. Степанова, О.А. Глотка - Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. - 86 с.
6. Смоляков О.В. Дифракційні методи дослідження: навч. посіб. / О.В. Смоляков, В.В. Гіржон. – Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2015. – 90 с.
7. Рентгеноструктурний аналіз у матеріалознавстві: навч.-метод. посіб.: [для вищ. навч. закл.] / С. І. Мудрий, Ю. О. Кулик, А.С. Якимович. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 226 с.
8. Холявко В. В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів [текст]: навчальний посібник для студентів галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / В. В. Холявко, І. А. Владимірський, О. О. Жабинська. – Київ: Центр учбової літератури, 2016. – 156 с.
9. Vitalij K. Pecharsky, Peter Y. Zavalij . Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials Springer.- 2005, 713p.
10. С.М. Данильченко, В. М. Кузнецов, І. Ю. Проценко Рентгенодифракційні методи дослідження кристалічних матеріалів: навчальний посібник / .- Суми: Сумський державний університет, 2019.- 135 с.
11. В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов. Рентгенографія кристалічних матеріалів : навч. посіб. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 287 с. 7. Georg Will. Powder Diffraction. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2006, 224 p.
12. С.О. Колінько., Т.І. Бутенко, Ващенко В.А. Конспект лекцій з дисципліни «Фізика конденсованого стану матеріалів» М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2021. – 175 с.
13. Структура і фізичні властивості твердого тіла: лабораторний практикум / О. Г. Алавердова [та ін.] ; ред. Л. С. Палатник. - Київ : Вища шк., 1992. - 311 с.
2. М.В. Карпець, С.І. Сидоренко, А.П. Бурмак. Сучасні експериментальні методи аналізу низькорозмірних структур:Лабораторний практикум: навч. посіб. –К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського; – 2021. – 113 с

#### **14.Рекомендовані інформаційні джерела**

1. <https://oqmd.org/>