Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра
високотемпературних
матеріалів та порошкової
металургії

РЕНТГЕНІВСЬКИЙ АНАЛІЗ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	***Другий (магістерський)***
Галузь знань	*13 Механічна інженерія*[1]
Спеціальність	*132 Матеріалознавство*
Освітня програма	*Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів*
Статус дисципліни	*Вибіркова*
Форма навчання	*очна(денна) /дистанційна*
Рік підготовки, семестр	*1 курс, весняний семестр*
Обсяг дисципліни	*5 кредитів ECTS / 150 годин, 36 годин лекцій, 18 годин лабораторних занять*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*екзамен / МКР*
Розклад занять	*http://rozklad.kpi.ua (Лекція –1 раз на тиждень, лабораторне заняття – 1 раз на два тижні)*
Мова викладання	*Українська/Англійська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: *доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail: yurkova2403@gmail.com* [2] Лабораторні: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Карасевська Ольга Павлівна, *e- mail: karas31415@ukr.net*
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=203943

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни надає здобувачу можливість ознайомитися з сучасним рівнем наукових досліджень в області рентгеноструктурного аналізу дисперсних матеріалів, поглибити професійну підготовку в межах спеціальності та освітньої програми, здобути додаткові результати навчання. Цю дисципліну варто вчити для того, щоб стати конкурентоспроможним фахівцем. Рентгенівські методи дослідження дають пряму і найбільш об`єктивну інформацію про атомно-кристалічну будову твердого тіла. Володіючи цими методами, студент стає фахівцем, здатним вирішувати задачі встановлення взаємозв`язку між хімічним складом, внутрішньою будовою та різноманітними фізико-хімічними і механічними властивостями матеріалів, в т.ч. дисперсних.

---

[1] В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:
Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану.
Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

[2] Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

Предмет дисципліни «Рентгенівський аналіз дисперсних матеріалів» – вивчення особливостей формування рентгенівських інтерференційних картин дисперсних матеріалів, отриманих різними методами, для визначення на їх основі структури, фазового складу, розмірів кристалітів, тонкої структури (розмір блоків, величину мікронапружень, щільність дислокацій) у широкому інтервалі дисперсності, та опанування сучасними методики контролю структурних змін в дисперсних матеріалів на різних стадіях отримання.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів фахових компетентностей спеціальності таких як:

- *здатність уявляти особливості формування рентгенівських інтерференційних картин дисперсних матеріалів, отриманих різними методами, та визначати на їх основі структуру, фазовий склад, розміри кристалітів, тонку структуру (розмір блоків, величину мікронапружень, щільність дислокацій) у широкому інтервалі дисперсності;*
- *здатність застосовувати знання сучасних рентгенівських методів та методик дослідження дисперсних матеріалів;*
- *здатність застосовувати сучасні методики контролю структурних змін в дисперсних матеріалів на різних стадіях їх отримання;*
- *здатності працювати із дослідницьким устаткуванням, застосовуючи сучасні методи і методики експерименту у лабораторних та виробничих умовах для вирішення завдань в галузі матеріалознавства;*
- *здатність проводити дослідження структури композитів і покриттів із вихідних матеріалів різного ступеня дисперсності методами рентгенівського дифракційного експерименту із розумінням фізичної сутності і можливостей методів та критичним аналізом його результатів*
- *здатність проводити дослідницькі роботи, стандартизацію, сертифікацію матеріалів та виробів на підставі базових знань;*
- *здатність обґрунтовано здійснювати вибір методів та методик дослідження структури, фазового та хімічного складу матеріалів і виробів.*

Програмні результати навчання:

студенти мають продемонструвати знання:

- *термінології рентгенівського аналізу, фізичних основ взаємодії рентгенівського випромінювання з матеріалами, теоретичних основ та можливостей основних сучасних методів рентгеноструктурного аналізу для дослідження структури матеріалів;*
- *теорії дифракції рентгенівських променів та рентгенівських методів дослідження фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови матеріалів;*
- *найбільш розповсюджених експериментальних методів дослідження дисперсних матеріалів і структур, умови реалізації та границі застосування методів;*
- *основних розрахункових методик обробки результатів рентгенівського експерименту;*
- *сучасних методик контролю структурних змін порошкових матеріалів як на стадії пресування, так і на стадії спікання.*

студенти повинні уміти:

- *застосовувати отриманні знання для проведення експериментальних досліджень фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови дисперсних матеріалів;*
- *обирати методи дослідження для рішення конкретних практичних задач визначення структури матеріалів; використовувати методи рентгеноструктурного аналізу для вивчення фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови;*

– *використовувати основні розрахункові методики обробки результатів рентгенівського дифракційного експерименту на основі сучасних інформаційних технологій та критично аналізувати отримані експериментальні дані;*

– *опановувати сучасні методики контролю структурних змін порошкових матеріалів як на стадії пресування, так і на стадії спікання.*

– *планувати і виконувати експериментальні матеріалознавчі дослідження, обирати відповідні обладнання та методики, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки.*

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна викладається в другому семестрі підготовки за освітньою програмою підготовки магістрів з матеріалознавства. Для успішного засвоєння дисципліни, студент повинен володіти набором компетентностей бакалаврського рівня.

Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни «Рентгенівський аналіз дисперсних матеріалів», є підґрунтям для проведення науково-дослідних робіт, виконання магістерських дисертацій при підготовці за спеціальністю «Матеріалознавство».

3. Зміст навчальної дисципліни

Надається перелік розділів і тем всієї ***дисципліни****.*

Дисципліна – «Рентгеноструктурний аналіз дисперсних матеріалів» містить один змістовний модуль: «Рентгеноструктурний аналіз дисперсних матеріалів»

Розділ 1. Вивчення твердого тіла на макроскопічному (суцільне середовище) та мікроскопічному (дискретне середовище) рівні.

Тема 1.1. Особливості кристалічного стану речовини. Кристалічна решітка..

Тема 1.2. Формули структурної кристалографії. Симетрія кристалів.

Розділ 2. Застосування дифракції рентгенівських променів для дослідження матеріалів

Тема 2.1. Отримання та властивості рентгенівських променів. Спектральний склад рентгенівських променів. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину.

Тема 2.2. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Рівняння Лауе та Вульфа-Брегга. Основні методи рентгеноструктурного аналізу.

Тема 2.3. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів.

Тема 2.4. Рентгенограма/дифрактограма як джерело інформації про будову речовини. Визначення фазового складу порошкових композицій.

Тема 2.5. Прецизійне визначення параметрів кристалічної ґратки. Рентгенівський аналіз діаграм стану.

Розділ 3. Методи визначення дисперсності матеріалів

Тема 3.1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Визначення розміру кристалітів методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці та з використанням ефекту первинної екстинкції.

Тема 3.2. Визначення розміру кристалітів та мікронапружень за розширенням дифракційних ліній.

Тема 3.3. Визначення розміру кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання з урахуванням дефектів пакування.

Тема 3.4. Рентгенівський аналіз залишкових напружень. Лінійний, плоский та об'ємний напружений стан матеріалу. Визначення макронапружень методом $\sin^2\psi$.

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1 Базова

1. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 132 Матеріалознавство / Л.О. Бірюкович. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с.

2. Кушта Г.П. Рентгенографія металів [Текст] / Г.П. Кушта. – Львов: Высшая школа, 1979. – 386 с.

3. Рентгеноструктурний аналіз матеріалів у дисперсному стані [Текст]: навчальний посібник / Уклад.: П.І. Лобода, О.П. Карасевська, І.Ю. Троснікова. – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 139 с.

4. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический аналіз [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев – М.: МИСИС, 2002 (1994). – 327 с.

5. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия [Текст] / Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев. – М.: Металлургия, 1994. – 632 с.

Перераховані книги є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського і можуть бути використані для отримання базових знань по рентгенівському аналізу дисперсних матеріалів.

4.2 Допоміжна

1. Структура і властивості твердого тіла [Текст]: Лабораторний практикум: Навч. посібник / О.Г. Алавердова, О.В. Арінкін, О.Ф. Богданова та ін. За ред. Л.С. Палатника. – К.: Вища школа, 1992. - 311 с.

2. Тейлор А. Рентгеновская металлография [Текст] (перевод с английского) / А. Тейлор. Ред. Б.Я. Пинес. – М.: Металлургия, 1965. – 663 с.

3. Шаскольская М.П. Кристаллография [Текст] / М.П. Шаскольская. – М.: Высшая школа, 1982. – 375 с.

4. Кушта Г.П.. Введение в кристаллорафию [Текст] / Г.П. Кушта. – Львов: Высшая школа, 1976. – 237 с.

5. Русаков А.А. Рентгенография металлов [Текст] / А.А. Русаков. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.

6. Cullity BD, Stock SR (2001) Elements of X-Ray Diffraction, 2nd edn. Pearson Education Limited, London. https://www.pearson.com/us/higher-education/product/Cullity-Elements-of-X-Ray-Diffraction-3rd-Edition/9780201610918.html

7. Yeh JW, Chang SY, Hong YD, Chen SK, Lin SJ (2007) Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of Cu-Ni-Al-Co-Cr-Fe-Si alloy systems with multi-principal elements. Materials Chemistry and Physics 103(41):41–46. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.01.003

8. Ungar T. Characterization of nanocrystalline materials by X-ray line profile analysis, J. Mater. Sci. 42, 1584–1593 (2007). DOI https://doi.org/10.1007/s10853-006-0696-1

9. Ungar T. Microstructural parameters from X-ray diffraction peak broadening Scripta Materialia Volume 51, Issue 8, October 2004, Pages 777-781. DOI https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2004.05.007

Книги [1] – [5], зазначені у списку додаткових навчальних матеріалів, є у вільному доступі бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел, більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та/чи практичних занять. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1 Зміст лекційних занять

Розділ 1. ***Вивчення твердого тіла на макроскопічному (суцільне середовище***

Лекція 1. Вступ. Мета і завдання дисципліни. Дифракційні методи вивчення структури матеріалів та їх роль в розвитку фізичних основ матеріалознавства. Вивчення твердого тіла на макроскопічному та мікроскопічному рівні. *(електронна презентація)*

Література [1] с. 13-21; [2] с. 17-29; [4] с. 342-346.

Тема 1.1. Особливості кристалічного стану речовини. Кристалічна решітка.

Лекція 2. Особливості кристалічного стану речовини: гомогенність, симетрія, анізотропія. Кристалічна решітка та елементарна комірка. Співвідношення параметрів елементарної комірки. Сингонії та категорії. Базис просторової решітки. Координаційне число. Елементи симетрії кристалічного простору (вузли, вузлові площини, вузлові вісі) та їх позначення. Находження індексів кристалографічних площин. Індекси Вейса та Міллера. *(електронна презентація)*

Література [1] с. 5-13; [4] с. 317-328; с. 342-346.

Тема 1.2. Формули структурної кристалографії. Симетрія кристалів

Лекція 3. Формули структурної кристалографії: Визначення міжплощинної відстані. Сукупність площин, кристалографічна зона, умови зональності. Симетрія кристалів: Центр симетрії (центр інверсії), площина симетрії, вісь симетрії. *(електронна презентація)*

Література [3] с.102-111; [4] с. 317-328. [3]

Розділ 2. ***Застосування дифракції рентгенівських променів для дослідження матеріалів***

Тема 2.1. Отримання та властивості рентгенівських променів. Спектральний склад рентгенівських променів. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину.

Лекція 4. Природа, отримання та властивості рентгенівських променів. Способи реєстрації рентгенівського випромінювання. *(електронна презентація)*

Література [3] сс. 28-36; 41; 10-13; [6] с. 140-146.

Лекція 5. Спектральний склад рентгенівських променів. Рентгенівські спектри. Суцільний рентгенівський спектр, його природа та властивості. Загальні закономірності суцільного спектра. Характеристичний рентгенівський спектр, його природа та умови виникнення. Теорія характеристичного спектру. Спектральні серії. Закон Мозлі. Флуоресцентне (вторинне характеристичне) випромінювання *(електронна презентація)*

Література [3] с. 13-17; [2] [4] с. 317-328. . [6] с. 143-146.

Лекція 6. Основний закон ослаблення рентгенівських променів. Лінійний та масовий коефіцієнти ослаблення. Шар половинного ослаблення. Визначення товщини металевих покриттів за ослабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки. Край смуги поглинання рентгенівських променів. Фільтрація рентгенівського випромінювання. *(електронна презентація)*

Література: [4] с. 117-128. [5] с. 170-172 , [6] с. 146-153,

Лекція 7. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину. Поглинання та розсіювання рентгенівського випромінювання. Фотоелектричний ефект, вторинне випромінювання, оже-ефект. Класичне та квантове розсіяння рентгенівських променів. Електронно-позитронні пари. *(електронна презентація)*

Література: [4] с. 117-128, [5] с. 170-172; [6] с. 147-153

Тематична контрольна робота 1 (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А**).**

Тема 2.2. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Рівняння Лауе та Вульфа-Брегга. Основні методи рентгеноструктурного аналізу.

Лекція 8. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Розсіювання рентгенівських променів атомним рядом, атомною площиною, кристалічною решіткою. Рівняння Лауе. Рівняння Вульфа-Брегга та його застосування у рентгенографії матеріалів. Загальна характеристика основних методів рентгеноструктурного аналізу: Лауе, обертового монокристала, полікристалів (метод Дебая-Шерера). *(електронна презентація)*

Література [3] с. 13-15; 129-131; [4] с. 117-128; [6] с. 218-250.

Тема 2.3. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів.

Лекція 9. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Розрахунок відносної інтегральної інтенсивності ліній рентгенограми полікристалічних матеріалів. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів: кутовий фактор, атомний фактор, структурна амплітуда розсіювання, структурний фактор. *(електронна презентація)*

Література [3] с.112-148. [5] с. 49-53, [6] с. 186-200

Лекція 10. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Аналіз структурної амплітуди простої решітки, ОЦК-, ГЦК- та ГЩУ- решітки. Закономірності інтегральних погасань. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів: повторюваності, температурний, поглинання. Ефект первинної екстинкції. *(електронна презентація)*

Література: [4] с. 117-128, [5] с. 49-53,

Тема 2.4. Рентгенограма/дифрактограма як джерело інформації про будову речовини. Визначення фазового складу порошкових композицій.

Лекція 11. Рентгенограма як джерело інформації про будову речовини. Експериментальне визначення кутів дифракції, міжплощинних відстаней та інтенсивності інтерференційних максимумів. Визначення фазового складу порошкових композицій. Точність і чутливість аналізу. Основні етапи визначення атомно-кристалічної структури. Кількісний фазовий аналіз. Аналітичний метод індексування дифрактограм. *(електронна презентація)*

Література [3] с. 383-406; [5] с. 80-104; [6] с. 57-67; [7] с. 275-289

Тема 2.5. Прецизійне визначення параметрів кристалічної ґратки. Рентгенівський аналіз діаграм стану.

Лекція 12. Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки. Методи прецизійного визначення періоду кристалічної ґратки: методи зворотної зйомки. Метод графічної екстраполяції. Вибір випромінювання для прецизійного визначення періоду решітки.

Література [5] с. 42-49, [6] с. 245-247, с. 269-275 *(електронна презентація)*

Лекція 13. Рентгенівський аналіз діаграм стану. Особливості дифракційної картини діаграми стану з необмеженою та обмеженою розчинністю компонентів, діаграми стану механічної суміші. Уточнення положення фазових границь на діаграмах стану. Типи твердих розчинів - заміщення, проникнення та вилучення. Визначення типу твердого розчину *(електронна презентація)*

Література [5] с. 42-49, [6] с. 245-247, с. 269-275

Розділ 3. ***Методи визначення дисперсності матеріалів***

Тема 3.1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Визначення розміру кристалітів методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці та з використанням ефекту первинної екстинкції.

Лекція 14. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Особливості рентгенівської дифракційної картини в залежності від розміру зерен/блоків/кристалітів. Визначення розміру кристалітів методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці. *(електронна презентація)*

Дидактичні засоби: презентація матеріалів лекцій

Література [3] с. 306-310; [9] с. 271-354.

Тематична контрольна робота 2 (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А**).**

Лекція 15. Визначення розміру кристалітів з використанням ефекту первинної екстинкції (за зменшенням інтенсивності дифракційних ліній внаслідок первинної екстинкції). Вплив ефекту первинної екстинкції на інтенсивність інтерференційних ліній. *(електронна презентація)*

Література: [5] с. 127-130, [6] с. 200-204.

Тема 3.2. Визначення розміру кристалітів та мікронапружень за розширенням дифракційних ліній

Лекція 16. Визначення розмірів кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання за розширенням дифракційних ліній. Визначення інтегральної або експериментальної ширини дифракційних ліній. Інструментальна ширина та фізичне розширення дифракційних ліній. Фактори, що викликають розширення дифракційних ліній.

Дидактичні засоби: презентація матеріалів лекції *(електронна презентація)*

Література [4] с.145-155; [7] с. 347-365.

Лекція 17. Визначення розмірів кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання (дисперсності кристалітів). Мікровикривлення кристалічної решітки. Розділення внеску дисперсності та мікровикривлень у фізичне розширення дифракційних ліній.

Дидактичні засоби: презентація матеріалів лекції *(електронна презентація)*

Література [4] с.145-155; [7] с. 347-365.

Тема 3.3. Визначення розміру кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання з урахуванням дефектів пакування

Лекція 18. Вплив деформаційних дефектів пакування на положення, форму та ширину дифракційних максимумів. Визначення концентрації дефектів пакування у деформованих матеріалах та розміру кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання (середнього розміру кристалітів) з урахуванням дефектів пакування. *(електронна презентація)*

Література [4] с. 334-339.

5.1 Перелік тем лабораторних занять

	ауд. год.
Лабораторна робота 1. Ознайомлення студентів з вимогами щодо підготовки до лабораторних занять, правилами оформлення протоколів та захисту лабораторних робіт. Механізми взаємодії між рентгенівським випромінюванням і речовиною. Визначення товщини металевих покриттів за ослабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки.	2
Лабораторна робота 2. Дифракція рентгенівських променів на кристалічній структурі речовини.	2
Лабораторна робота 3. Визначення кристалічної будови фазових складових речовини. Визначення кристалічної структури полікристалічної речовини кубічної та тетрагональної сингонії.	2
Лабораторна робота 4. Рентгенівський фазовий аналіз. Визначення якісного та кількісного фазового складу речовини.	2
Лабораторна робота 5. Напруження в речовині, їх класифікація. Визначення макронапружень в матеріалах рентгенівським методом.	2
Лабораторна робота 6. Визначення мікронапружень та розмірів блоків/ділянок когерентного розсіювання (ДКР). Розділення їх вкладів в розподіл інтенсивності (розширення ліній) на дифрактограмі/рентгенограмі.	2
Лабораторна робота 7. Кристалографічні текстури у матеріалах та методи їх дослідження. Рентгенівський аналіз текстур у матеріалах.	2
Лабораторна робота 8. Рентгеноструктурний аналіз монокристалів.	2
Лабораторна робота 9. Рентгеноструктурний аналіз багатофазних	2

композитів.

Всього: 18

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 96 годин) з дисципліни полягає в:

- *самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем (35 годин);*
- *підготовці до 2-х тематичних контрольних робіт (4 години)*
- *підготовці до виконання лабораторних робіт, аналізу одержаних результатів та формулюванні висновків – в розрахунку 1,5 години на 1 годину виконання лабораторних занять (27 годин);*
- *підготовці до підсумкової атестації – екзамену (30 годин).*

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентами:

- *Відвідування усіх лабораторних занять є обов'язковим.*
- *Завдання пропущеного лабораторного заняття студент повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.*
- *Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час лабораторних занять дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів, тощо.*
- *Умовою допуску до лабораторних занять є наявність у студента написаного протоколу, який складається з: номера та назви лабораторної роботи; мети лабораторної роботи; теоретичних відомостей, до яких включають основні визначення та умовні позначення; порядок виконання лабораторної роботи.*
  Перевірка правильності виконання завдань проводиться викладачем безпосередньо на занятті. Студенти можуть обробляти отримані на лабораторному занятті експериментальні результати (виконувати розрахунки, аналіз одержаних результатів та формулювання висновків) самостійно вдома і надавати їх на перевірку викладачу на наступному занятті. За умови проведення лабораторних занять у дистанційному режимі оформлені протоколи лабораторних робіт із виконаними завданнями надсилаються викладачу для перевірки упродовж тижня після останнього заняття за відповідною темою.
- *Результати виконаних лабораторних робіт оформлюються у вигляді звітів з застосуванням текстового редактора. Звіт супроводжується формулами, таблицями, графіками, елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати. За дистанційної чи змішаної форми навчання звіт оформлюється в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надсилається на e- mail викладача. За звичайної аудиторної форми навчання звіт виконується в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається у роздрукованому вигляді. Безпосередній захист відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.*
- *Перескладання тематичних контрольних робіт проводиться за взаємною домовленістю викладача та студента.*
- *Перескладання екзамену проводиться під час додаткової сесії за положенням КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до графіку перескладань, оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є.О. Патона*

- *Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – за тематикою власних наукових досліджень, курсового чи дипломного проектування. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.*
- *Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Звіти з лабораторних занять виконуються і подаються на перевірку не пізніше 2-х тижнів з моменту завершення. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.*
- *Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» https://kpi.ua/code.*

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль:

- *Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях – максимум 1 бал, всього 18 балів. Бали за опитування на пропущених лекціях компенсуються виконанням конспекту-реферату (див. п. 7)*
- *Захист звітів з лабораторних робіт всього максимально 70 балів:*
  - *Лабораторна 1 максимум 6 балів*
  - *Лабораторна 2 максимум 6 балів*
  - *Лабораторна 3 максимум 6 балів*
  - *Лабораторна 4 максимум 8 балів*
  - *Лабораторна 5 максимум 8 балів*
  - *Лабораторна 6 максимум 8 балів*
  - *Лабораторна 7 максимум 10 балів*
  - *Лабораторна 8 максимум 9 балів*
  - *Лабораторна 9 максимум 9 балів*

- *МКР розбита на 2 Тематичні контрольні роботи, які проводяться у вигляді тестів на 7-му та 14-му навчальних тижнях. Максимальна оцінка 6 балів за тест, всього 12 балів.*

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для позитивного першого календарного контролю студент повинен отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт № 1 - № 3 та Тематичної контрольної роботи № 1. Для позитивного другого календарного контролю аспірант повин отримати позитивні оцінки за захист практичних робіт № 4 - № 7 та тематичної контрольної роботи № 2.

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг $\geq$ 50 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт та кількості балів за видами:

- *Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях не менше 9 балів.*
- *Тематичні контрольні роботи не менше 6 балів.*
- *Захист звітів з лабораторних робіт не менше 35 балів.*

Відповідь на кожне з питання оцінюється у 50 балів за 100-бальною шкалою, відповідно:

- *«відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);*
- *«добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями);*
- *«задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);*
- *«незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно».*

Оцінка за відповідь знижується – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 10-5 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	*Оцінка*
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *У випадку проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою курсу, що підтверджується відповідними сертифікатами, додатково нараховуються 10 балів.*
- *Перелік питань на 1 та 2 тематичні контрольні роботи знаходиться в Додатку А*
- *Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (екзамен) знаходиться в Додатку Б.*
- *лабораторні роботи плануються з максимальним використанням обладнання лабораторій ЦККНО «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів» в структурі ІМЗ ім. Є. О. Патона, яке застосовується при одержанні та дослідженні широкого спектру порошкових, композиційних матеріалів та покриттів.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено:

професором кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, доктором технічних наук, професором, Юрковою Олександрою Іванівною

Ухвалено:

кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії(протокол № ___ від _____)

Погоджено:

Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О.Патона (протокол № __ від _____)

Додаток А

ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,
які виносяться на тематичні контрольні роботи

Тематична контрольна робота 1:

1. Яка кількість атомів припадає на долю простої решітки, ОЦК, ГЦК?
2. Що таке базис просторової решітки, чим характеризується, як позначається?
3. Що таке координаційне число?
4. Як позначають вузли в кристалічної решітці, вузлові прями, площини?
5. Індекси Вейса та Міллера. Находження індексів кристалографічних площин.
6. Міжплощинна відстань. Як визначається міжплощинну відстань через індекси площини і періоди решітки?
7. Квадратична форма для ромбічної, кубічної, тетрагональної, гексагональної системи.
8. Центр симетрії, площина симетрії, вісь симетрії.
9. Яка природа рентгенівських променів та як їх отримати?
10. Основні властивості рентгенівських променів.
11. Рівняння Вульфа-Брегга, які властивості рентгенівських променів воно описує?
12. Яку інформацію можна отримати за допомогою рівняння Вульфа-Брегга?
13. Яку інформацію отримують за дифрактограмою (рентгенограмою)?
14. Як розкласти рентгенівські промені в спектр? Типи спектрів рентгенівського випромінювання.
15. Як виникає суцільний спектр? Особливості суцільного спектра. Чим визначається спектральний склад суцільного спектра?
16. Як інтенсивність суцільного спектра залежить від атомного номера матеріалу анода, режимів роботи трубки? Чому ККД рентгенівської трубки становить 1-2%?
17. Умова виникнення характеристичного спектра та його основні особливості.
18. Від чого залежить спектральний склад характеристичного спектра?
19. Як виникає характеристичний спектр (теорія виникнення характеристичного спектра)?
20. Від чого залежить відносна інтенсивність ліній К-серії характеристичного спектра? Співвідношення довжин хвиль К-серії характеристичного спектра.
21. Закон Мозлі і його застосування.
22. Флуоресцентне (вторинне характеристичне) випромінювання: відмінності від характеристичного випромінювання (первинного); як виникає, застосування.
23. Основний закон ослаблення монохроматичних рентгенівських променів.
24. Лінійний і масовий коефіцієнти ослаблення рентгенівських променів, фізична сутність, що характеризують і від чого залежать, одиниці вимірювання.
25. Що таке шар половинного ослаблення?
26. Як масовий коефіцієнт поглинання (ослаблення) залежить від атомного номера речовини і від довжини хвилі випромінювання?
27. Як можна визначити товщину покриття рентгенівським методом?
28. Що таке край смуги поглинання або стрибок поглинання, як виникає?
29. Фільтрація рентгенівського випромінювання. Призначення фільтрів. Як підібрати фільтр?
30. Яки явища виникають при взаємодії рентгенівських променів з речовиною?
31. Які процеси відповідають за поглинання, розсіювання рентгенівських променів?
32. Поглинання рентгенівського випромінювання: фотоефект, вторинне характеристичне випромінювання, Оже-ефект.
33. При яких явищах виникають фотоелектрон, оже-електрон, електрон видатності?
34. Що таке когерентне та некогерентне розсіювання рентгенівських променів? Коли виникає комптон ефект?

35. При яких енергіях рентгенівських квантів відбувається утворювання електрон-позитронних пар?

Тематична контрольна робота 2:

1. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів: рівняння Лауе для атомного ряду, атомної площини та кристалічної решітці.
2. Як на практиці виконують умови виникнення інтерференційних максимумів?
3. Рівняння Вульфа-Бреггів та його застосування у рентгенографії матеріалів.
4. Основні методи рентгеноструктурного аналізу, їх характеристика та призначення.
5. За якими ознаками розрізняються методи рентгеноструктурного аналізу?
6. Функцією яких факторів є інтегральна інтенсивність ліній рентгенограми/дифрактограми?
7. Кутовий фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
8. Атомний фактор розсіювання, від чого залежить, як змінюється, його вплив на інтенсивність.
9. Структурний фактор інтенсивності, його вплив на інтенсивність ліній на рентгенограмі, що враховує, як визначається?
10. Структурна амплітуда F, що враховує, як визначається?
11. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для простої, ОЦК- та ГЦК решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
12. Температурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
13. Фактор повторюваності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
14. Залежність інтенсивності інтерференційних ліній від фактора поглинання.
15. Як первинна екстинкція впливає на інтенсивність ліній?
16. Від чого залежить інтегральна інтенсивність дифракційних максимумів?
12. Чому на рентгенограмі чистого металу або однофазного твердого розчину різні інтерференційні лінії мають різну інтенсивність?
13. Від чого, крім факторів інтенсивності, залежить інтенсивність інтерференційних максимумів?
14. На чому ґрунтується якісний фазовий аналіз багатофазних матеріалів?
15. Який вид має дифрактограма (рентгенограма) багатофазного об'єкта?
16. Як провести якісний фазовий аналіз?
17. Які додаткові відомості про досліджуваний об'єкт необхідно знати для однозначного вирішення завдання якісного фазового аналізу?
18. Які лінії називаються реперними? Яке мінімальне число ліній на дифрактограмі необхідно для аналізу фазового складу речовини?
19. Що таке чутливість якісного фазового аналізу і від яких чинників вона залежить?
20. Що впливає на чутливість якісного фазового аналізу?
21. Чому можуть бути відсутні лінії на дифрактограмі (рентгенограмі)?
22. Основи методу рентгеноструктурного кількісного фазового аналізу.
23. Які фактори впливають на інтенсивність ліній на рентгенограмі?
24. Методи кількісного фазового аналізу та їх характеристика.
25. Як визначити тип кристалічної решітки для кристалів кубічної сингонії?
26. Як індексується рентгенограма/дифрактограма кристалів кубічної сингонії?
27. Як розрізнити рентгенограми кристалів з примітивною кубічною і ОЦК решітками?
28. Як розрахувати період кристалічної решітки? Методи прецизійного (точного) визначення періоду решітки.
29. Який зв’язок існує між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?
30. Які задачі рентгеноструктурного аналізу вирішують шляхом прецизійного вимірювання періодів решітки? Як досягається прецизійність вимірювання періодів решітки?
31. Яка область кутів θ (значення кутів) є прецизійною та чому?

32. На чому засновано прецизійні методи визначення періодів решітки (міжплощинні віддалі)?
33. Методи прецизійної зйомки та їх характеристика.
34. Методи графічної екстраполяції. Як обрати екстраполяційну функцію? На чому засновано методи?
35. Як правильно обрати випромінювання для прецизійної зйомки?
36. Особливості рентгенівської картини діаграм стану з відсутньою, обмеженою та з необмежною розчинністю компонентів.
37. Які методи застосовують для уточнення положення фазових границь на діаграмах стану?
38. Які типи твердих розчинів Ви знаєте? Як визначити тип твердого розчину?

Додаток Б

ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,
які виносяться на семестровий контроль

1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення дисперсності порошкових об'єктів.
2. За якими формулами розраховують мікронапруження у матеріалах?
3. Кристалічна решітка та елементарна комірка. Співвідношення параметрів елементарної комірки.
4. Визначення дисперсності порошків методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці.
5. Якими функціями описують розподіл інтенсивності в інтерференційних максимумах при вивченні тонкої кристалічної структури (дисперсність, мікронапруження) в металах.
6. Елементи симетрії кристалічного простору (вузли, вузлові площини, вузлові вісі) та їх позначення.
7. Визначення дисперсності/ розміру зерен, кристалітів з використанняv ефекту первинної екстинкції.
8. Що є мірою мікронапружень (напружень II роду) в металах?
9. Обчислення об'єму елементарної комірки.
10. Як визначаються міжплощинні віддалі за даними рентгеноструктурного аналізу?
11. Рівняння Вульфа-Бреггів та його застосування у рентгенографії металів.
12. Визначення товщини покриттів за ослабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки.
13. Методика визначення ширини інтерференційних максимумів.
14. Рентгенограма як джерело інформації і які її ознаки характеризують стан і будову речовини?
15. Від чого залежить кількість інтерференційних максимумів на рентгенограмі/дифрактограмі?
16. Які математичні функції використовують для опису профілю інтерференційних ліній при визначенні фізичного розширення?
17. Який розмір кристалітів можна визначити з лауеграми та епіграми?
18. Структурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі/дифрактограмі.
19. Які параметри рентгенограми/дифрактограми використовують для визначення дисперсності порошків у межах 10^{-5} – 10^{-6} см та за якими формулами ведуться розрахунки?
20. Методика визначення центру ваги інтерференційного максимуму.
21. Атомний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
22. Правила вибору рентгенівського випромінювання при здійсненні структурного аналізу матеріалів, до складу яких входять хімічні елементи з різними порядковими номерами у таблиці Менделєєва.
23. Від чого залежить кількість та розмір плям на дебаєвському кільці рентгенограми?
24. Кутовий фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
25. Що таке області когерентного розсіювання рентгенівських променів (блоків) і як вивчають їх розмір?
26. Температурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
27. Як залежить вигляд рентгенограми/дифрактограми від дисперсності блоків у матеріалах?
28. Фактор повторюваності інтерференційних ліній.
29. Кількісний фазовий рентгенівський аналіз порошкових композицій методом підмішування еталона.
30. Залежність інтенсивності інтерференційних ліній від фактора поглинання.
31. Що таке внутрішні напруження II роду (мікронапруження) і чим вони характеризуються?
32. Ефект первинної екстинкції і його вплив на інтенсивність інтерференційних ліній.
33. Що дає аналіз відношення фізичного розширення інтерференційних ліній β_2/β_1?

34. Чому рентгенограма/дифрактограма сталі марки Ст3 не відрізняється від рентгенограми заліза?
35. Експериментальне визначення кутів дифракційних максимумів.
36. Чому на рентгенограмі чистого металу або однофазного твердого розчину різні інтерференційні лінії мають різну інтенсивність?
37. Роздільне визначення дисперсності блоків та мікронапружень.
38. Розрахунок міжплощинних відстаней у кристалічній речовині.
39. При визначенні дисперсності блоків і мікронапружень методом апроксимації застосовують еталон. Для чого його застосовують і які вимоги до нього висувають?
40. Як можна визначити товщину покриття рентгенівським методом?
41. Визначення якісного фазового складу порошкових композицій.
42. Чому вводиться і як визначається поправка на K_α-дублет при визначенні ширини інтерференційної лінії.
43. Які фактори впливають на розширення інтерференційних ліній і як їх враховують?
44. Методи кількісного фазового аналізу.
45. У якому діапазоні визначаються розміри блоків за фізичним розширенням інтерференційних ліній?
46. Яка область кутів є прецизійною для визначення параметру решітки та чому?
47. Формула Шеррера-Селякова та її застосування у рентгеноструктурному аналізі.
48. Чутливість якісного фазового рентгенівського аналізу порошкових композицій.
49. Як виникають рентгенівські промені та яка їх природа?
50. Основні властивості рентгенівських променів.
51. Що необхідне для виникнення рентгенівських променів?
52. Як виникає суцільний спектр випромінювання рентгенівської трубки та його закономірності. Від чого залежить спектральний склад суцільного спектру?
53. Характеристичний спектр: умови виникнення та особливості.
54. Як виникає характеристичний спектр?
55. Від чого залежить спектральний склад (довжина хвилі) та відносна інтенсивність ліній характеристичного спектра?
56. Закон Мозлі та його використання?
57. Як визначити хімічний склад речовини за допомогою рентгенівських променів?
58. Які явища виникають при взаємодії рентгенівських променів з речовиною?
59. Основний закон ослаблення монохроматичних рентгенівських променів.
60. Лінійний і масовий коефіцієнти ослаблення рентгенівських променів, їх фізичний сенс, що характеризують та від чого залежать, одиниці вимірювання.
61. Що таке шар половинного ослаблення? Як визначається?
62. Як масовий коефіцієнти поглинання (ослаблення) залежить від атомного номера речовини, від довжини хвилі випромінювання?
63. Край смуги поглинання або стрибок поглинання, як виникає та використовується?
64. Фільтрація рентгенівського випромінювання, на якому явищі базується, для чого застосовується?
65. Поглинання рентгенівського випромінювання: фотоефект, вторинне характеристичне випромінювання, Оже-ефект.
66. Розсіювання рентгенівських променів. Когерентне та некогерентне розсіювання.
67. Рівняння Лауе. Як на практиці виконують умови виникнення інтерференційних максимумів?
68. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для ОЦК-решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
69. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для ГЦК-решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
70. Структурний фактор інтенсивності, його вплив на інтенсивність ліній на рентгенограмі, що враховує, як визначається?
71. Атомний фактор розсіювання, від чого залежить, як змінюється, його вплив на інтенсивність.
72. Структурна амплітуда *F,* що враховує, як визначається?

73. Як розрахувати період решітки кристала? Методи прецизійного визначення періоду решітки.
74. Який зв’язок між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?
75. Як розділити α- і β-лінії на рентгенограмі? Чому вони виникають? Як позбутися β-ліній?
76. Для чого використовують фільтри та монохроматори? Як обирають випромінювання для проведення фазового аналізу, визначення параметра решітки?
77. Як визначити тип кристалічної решітки для кристалів з кубічною решіткою?
78. Як визначити тип твердого розчину?
79. Особливості рентгенівської картини діаграм стану з необмежною, обмеженою та відсутньою розчинністю компонентів.
80. Фактори, що викликають зсув дифракційних ліній.
81. Фактори, що викликають розмиття дифракційних ліній.
82. Як залежить фізичне розширення інтерференційних ліній від кута дифракції при наявності мікронапружень?
83. Взаємозв’язок між шириною інтерференційних ліній та дисперсністю частинок фазових складових сплавів.
84. Який зв’язок між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?