

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра **Фізичне матеріалознавство**



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор  
Прушківський В.Г.

2019 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**КРИСТАЛОГРАФІЯ І ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ**

(шифр і назва навчальної дисципліни)

галузь знань **13 «Механічна інженерія»**

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальність

(напрямок підготовки) **132 «Матеріалознавство»**

(шифр і назва спеціальності)

Спеціалізація (освітня програма) **«Прикладне матеріалознавство»,  
«Термічна обробка», «Композиційні та порошкові  
матеріали, покриття»**

(назва спеціалізації)

інститут, факультет **ФТІ, ІФФ**

(назва інституту, факультету, відділення)

мова навчання **українська**

Робоча програма з дисципліни **«Кристалографія і дефекти кристалічної будови»** для студентів галузі знань 13 **«Механічна інженерія»**, спеціальності **132 «Матеріалознавство»**, освітня програма **«Прикладне матеріалознавство», «Термічна обробка металів», «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»**

„09” 09 2019 року - 14 с.

Розробники: Степанова Л.П., к.т.н., доцент; Джуган О.А., ст. викладач; Лисиця О.В., ст. викладач.

(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри (предметної комісії)  
Фізичного матеріалознавства

Протокол від “ 09 ” 09 2019 року, протокол № 1

Завідувач кафедри фізичного матеріалознавства

“ 09 ” 09 2019 року  
(підпис) (Ольшанецький В.Ю.)  
(прізвище та ініціали)

Схвалено науково-методичною комісією інженерно-фізичного факультету  
(інституту) за напрямом підготовки (спеціальністю) 132 «Матеріалознавство»  
(код, назва)

Протокол від “ 17 ” 09 2019 року № 1

“ 17 ” 09 2019 року Голова (підпис) (Климов О.В.)  
(прізвище та ініціали)

Узгоджено групою забезпечення освітньої програми\*

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ року Керівник групи \_\_\_\_\_ (підпис) (прізвище та ініціали)

\*Якщо дисципліна викладається невипусковою кафедрою

## Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (напрямок підготовки), освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів-6	Галузь знань <b><u>13 «Механічна інженерія»</u></b> (шифр і назва)	Нормативна	
	Спеціальність (напрямок підготовки) <b><u>132 «Матеріалознавство»</u></b> (код і назва)		
Модулів – 1	Спеціалізація <b><u>«Прикладне матеріалознавство», «Термічна обробка металів», «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»</u></b> (код і назва)	<b>Рік підготовки:</b>	
Змістових модулів – 2		2-й	2-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання відсутнє (назва)		<b>Семестр</b>	
Загальна кількість годин - 180		3-й	3-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента -9	Освітній ступінь: <b>бакалавр</b>	<b>Лекції</b>	
		28 год.	8 год.
		<b>Практичні, семінарські</b>	
		<b>Лабораторні</b>	
		28 год.	6 год
		<b>Самостійна робота</b>	
		124 год.	166 год.
		<b>Індивідуальні завдання:</b> -	
		Вид контролю: іспит	

### Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 20% до 80%

для заочної форми навчання – 8% до 92%

### 1. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета:** опанування студентами знань, щодо зовнішньої та внутрішньої будови кристалів, дефектів кристалічної структури реальних кристалів та їх впливу на властивості матеріалів. Освоїти основи геометричної кристалографії, що розглядає закономірності зовнішньої форми кристалів, та структурної кристалографії, що вивчає атомну будову кристалів, типи кристалічних ґраток і їх характеристики, а також дефекти будови реальних кристалів.

**Завдання:** розвинення знань та практичних навичок студентів у визначенні особливостей кристалічної будови металів та сплавів. Поглиблене розуміння процесів кристалізації та властивостей сплавів металевих систем, опанування закономірностей будови кристалічних структур. Засвоєння основ геометричної та структурної кристалографії; знати основні типи кристалічних ґраток та їх характеристики; вивчення геометрії дефектів будови кристалічних ґраток; поглиблення знань, щодо ролі внутрішньої кристалічної будови у формуванні властивостей різних матеріалів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати:

**загальні компетентності:**

**КЗ.01.** Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

**КЗ.02.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

**КЗ.03.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**КЗ.04.** Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

**КЗ.05.** Здатність приймати обґрунтовані рішення.

**спеціальні (фахові) компетентності:**

**КС.04.** Здатність працювати в групі над великими інженерними проектами у сфері матеріалознавства

**КС.06.** Здатність використовувати практичні інженерні навички при вирішенні професійних завдань.

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

**КС.08.** Здатність застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності.

**Очікувані програмні результати навчання:**

**ПРН 1.** Демонструвати володіння логікою та методологією наукового пізнання.

**ПРН 2.** Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

**ПРН 7.** Володіти навичками, які дозволяють продовжувати вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**ПРН 8.** Уміти застосувати свої знання для вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі.

**ПРН 10.** Здатність поєднувати теорію і практику для розв'язування інженерного завдання.

**ПРН 11.** Демонструвати навички спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

**ПРН 21.** Уміти здійснювати пошук літератури, консультуватися і критично використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань відповідно до спеціалізації.

## **2. Програма навчальної дисципліни**

### **Змістовий модуль 1. Геометрична і структурна кристалографія**

#### **Тема 1.** Вступ. Геометрична кристалографія.

Вступ (предмет, задачі, та зміст дисципліни), основні поняття і терміни. Поняття кристалічної речовини. Загальні властивості кристалів. Поняття атомного ряду, плоскої сітки і просторової ґратки. Елементарна комірка, її геометричні константи. Кристалографічні проекції. Елементи симетрії зовнішньої форми кристалів. Проектування елементів симетрії.

#### **Тема 2.** Структурна кристалографія і кристалохімія.

Кристалографічні символи вузлів, напрямків, площин. Кристалографічна зона. Умова зональності. Кристалографічний напрямок лінії перетину двох площин. Розрахунки кута між напрямками і площинами. Характеристика і типи п'яти плоских сіток Браве. Ретикулярна щільність атомної сітки. Поняття міжплощинної відстані. Правило вибору елементарної комірки. Основні типи і характеристики комірок. Типи шарових пакувань в ґратках металів. Пори (пустоти) в щільнопакованих структурах. Поліморфні модифікації.

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

#### **Тема 1.** Точкові дефекти.

Класифікація дефектів за розміром. Характеристика точкових дефектів (вакансії, міжвузлові атоми, дефекти Френкеля і Шоттки, домішкові атоми заміщення і втілення). Гантелі, краудіон, комплекси вакансій. Поняття кластерів.

#### **Тема 2.** Лінійні дефекти.

Геометрична і атомна модель крайової дислокації. Ковзання і переповзання крайової дислокації. Геометрична і атомна модель гвинтової дислокації. Переміщення гвинтової дислокації. Криволінійні дислокації змішаної орієнтації. Кількісні характеристики дислокацій: контур і вектор

Бюргерса. Запис вектора Бюргерса, його потужність (величина). Густина дислокацій. Залежність міцності від густини дислокацій. Утворення дислокацій. Джерело Франка-Ріда. Повні і часткові дислокації. Дислокаційні реакції. Методи виявлення дислокацій.

**Тема 3.** Поверхневі дефекти.

Дефекти пакування, великокутові і малокутові границі зерен і субзерен, поняття когерентної границі. Способи переміщення великокутових границь зерен. Двійникові кристалічні структури.



**4. Теми семінарських занять**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	-	

**5. Теми практичних занять**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	-	

**6. Теми лабораторних занять**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Кристаліграфічні проєкції	2
2.	Стереографічна сітка Вульфа та розв'язання за її допомогою кристаліграфічних задач	2
3.	Елементи симетрії кристалів та їх стереографічні проєкції. Теорема складання	4
4.	Повний кристаліграфічний аналіз кристалів (контрольна робота)	2
5.	Визначення кристаліграфічних символів вузлів, напрямків і площин в кристалічних ґратках	2
6.	Типи елементарних комірок Браве та їх кількісні характеристики ( базис, координаційне число, коефіцієнт компактності)	2
7.	Типи щільнопакованих структур. Визначення найбільш щільнопакованих напрямків і площин в основних ґратках металів	2
8.	Контрольна робота з питань структурної кристаліграфії	2
9.	Точкові дефекти	2
10.	Кристаліграфічний аналіз дислокацій. Кількісні характеристики дислокацій (вектор Бюргерса, густина дислокацій)	2
11.	Дислокаційні реакції. Енергетичний критерій Франка	2
12.	Методи виявлення дислокацій	2
13.	Поверхневі дефекти	2
	Усього	28



## 7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Основні історичні етапи розвитку кристалографії, як науки. Основні чотири напрямки вивчення кристалографії. Геометрична кристалографія. Структурна кристалографія і кристалохімія, кристалофізика та фізико-хімічна кристалографія. Задачі і зв'язки всіх напрямків. Можливості формування оптимальної структури для забезпечення необхідних властивостей матеріалів.	4
2	Зв'язок кристалографії із іншими науками. Види кристалів: моно- і полікристалами. Умови росту і спосіб одержання монокристалів, їх особливості. Формування зеренної структури в полікристалічних матеріалах. Текстура, сутність та умови утворення в полікристалах.	4
3	Основні властивості кристалів: огранка, симетрія, анізотропія. Поліморфізм та ізоморфізм. Закон Вульфа щодо утворення певної форми кристала. Поняття континуума і дисконтинуума.	4
4	Поняття нескінченного атомного ряду і вектора трансляції. Вузли ґратки і кристалографічна площина. Просторова ґратка, трансляційна комірка. Геометричні і лінійні параметри елементарної комірки.	5
5	Закон постійності кутів. Особливості кристалографічних проєкцій. Поняття прямого і оберненого точкового комплексу. Правило для одержання комплексу. Приклади точкового комплексу для гексаедра, октаедра, тетраедра.	5
6	Особливості проектування кристалів. Елементи сферичної проєкції: вісь, сферична поверхня проєкції, нульовий меридіан. Поліус грані. Полярна відстань і довгота, кутові інтервали зміни сферичних координат. Способи зображення полюсів граней. Стереографічна проєкція. Стереографічні проєкції напрямків і площин в залежності від їх орієнтації. Способи зображення.	5
7	Властивості стереографічної проєкції і її використання для вирішення задач. Гномостереографічна проєкція, її застосування. Устрій координатної сітки Вульфа, принцип її побудови і способи визначення заданих проєкцій. Приклади задач для визначення кількісних співвідношень між елементами кристала проектуванні.	5
8	Симетрія кристалів. Симетричні перетворення: відображення в точці або інверсія; дзеркальне відображення в площині; поворот на певний кут; складна взаємодія	4

	інверсії і повороту.	
9	Елементи симетрії: центр симетрії, площина, прості поворотні і інверсійні осі. Правило для визначення центра і площини симетрії. Мінімальний кут повороту для суміщення кристала. Порядок осі симетрії. Закон симетрії. Відсутність осей симетрії із порядком $n = 5$ та $n \geq 7$ . Інверсійні осі. Взаємодія інверсійних осей із іншими елементами симетрії. Використання стереографічної проекції для проектування елементів симетрії. Особливості позначення їх на проекції.	5
10	Взаємодія елементів симетрії. Теорема Ейлера. Основні теореми для визначення формули симетрії. Використання стереографічної проекції для вирішення задач при визначенні сумарної дії при складанні елементів симетрії. Міжнародне позначення точкової групи кристала. Позначення елементів симетрії, використання теорем складання.	5
11	Проектування елементів симетрії, установка кристалів при проектуванні відносно координатних осей. Принципи виведення точкових груп елементів симетрії, історія питання, роль Гесселя і Гадоліна. Одиничні і симетрично рівні напрямки в кристалах. Прості форми і комбінації.	5
12	Елементи симетрії просторових нескінчених структур (дисконтинуума); трансляція, площини ковзаючого відбиття, гвинтові осі. Порядок осі. Точкові і просторові групи. Історія питання. Роль Федорова і Шенфліса. Принцип Неймана. Зв'язок між симетрією і анізотропією властивостей.	5
13	Особливості використання кристалографічних символів для позначення вузлів, напрямків і площин. Позначення сукупностей симетрично рівних напрямків і площин. Залежність кількості площин в сукупності від сингонії. Індeksi Мілера-Браве в гексагональній сингонії.	5
14	Кристалографічна зона, умова зональності Вейса. Зони в кристалах. Визначення площини по заданим індексам напрямків (мнемонічне правило перехресного множення). Визначення кута між площинами. Формули для розрахунків міжплощинних відстаней для різних сингоній. Типи двомірних ґраток. Ретикулярна щільність площин. Визначення найбільш щільно пакованих площин в ґратках металів.	6
15	Визначення типу просторової ґратки Браве і правило вибору елементарної комірки. Примітивна, базоцентрована,	6

	об'ємноцентрована і гранецентрована комірки, розташування атомів. Базис кристалічної структури. Визначення базисної матриці для типових кристалічних структур. Причини відсутності деяких типів комірок в ґратках різних сингоній.	
16	Координаційний багатогранник і визначення координаційного числа ґраток металів. Підрахунки коефіцієнта компактності. Розташування атомів, базисна матриця в складних структурах (ГЦП, графіту, алмазу).	4
17	Визначення атомних радіусів. Іонні і ковалентні радіуси. Вплив кристалохімічних факторів на кристалічну структуру. Поліморфні перетворення. Взаємна орієнтація ґраткомодифікацій при поліморфному перетворенні в залізі, титані і кобальті. Об'ємний ефект в олові. Зміна властивостей.	6
18	Характеристика найбільш щільних пакувань в ГЦП і ГЦК ґратках. Правила їх визначення в кристалічних структурах. Октаедричні і тетраедричні порожнини в ґратках. Їх розташування і розміри. Особливість октаедричних пор в ГЦП ґратці, їх вплив на процеси дифузії.	5
19	Структурні типи фаз в металічних системах. Епітаксіальні структури. Кристалічна орієнтація епітаксіального шару і підкладки. Критерій оцінки можливості епітаксії. Характеристики епітаксії в металічних фазах.	5
20	Поняття макро- і мікроскопічного розміру дефекту. Точкові нульвимірні дефекти. Власні і домішкові дефекти. Зміщення атомів навколо вакансії. Утворення вакансій за механізмом Шоттки. Дефект Френкеля. Поняття стоків. Міжвузлові атоми. Енергія утворення вакансій і міжвузлових атомів. Зв'язок із температурою плавлення металів.	5
21	Конфігураційна і коливальна ентропія. Рівноважна концентрація вакансій. Енергія активації міграції вакансій. Міграція міжвузлових атомів. Вакансійний механізм міграції домішкових атомів заміщення. Роль октаедричних і тетраедричних пор в міграції атомів впровадження при їх переміщенні.	6
22	Комплекси точкових дефектів: дівакансії і тетравакансії, вакансійні пори, гантель краудіон. Зміна концентрації вакансій при гартуванні і відпалу. Методи визначення концентрації вакансій.	3
23	Основні типи дислокацій. Поняття зсуву, як спосіб утворення дислокації. Спотворення в ґратці навколо екстра площини. Позитивна і негативна дислокації. Крайова дислокація як границя області зсуву в кристалі.	6

24	Ковзання крайової дислокації. Атомний механізм переміщення крайової дислокації. Площини ковзання дислокацій і швидкість їх переміщення. Переповзання крайової дислокації як консервативне переміщення із переносом маси. Утворення порогів при переповзанні крайової дислокації.	5
25	Гвинтова дислокація. Утворення атомної площини у вигляді гелікоїда. Розташування атомів в ядрі гвинтової дислокації. Відміна гвинтової дислокації від крайової. Ковзання гвинтової дислокації. Множинне поперечне ковзання. Змішані криволінійні дислокації. Утворення плоскої дислокаційної петлі усередині кристала. Призматичні дислокації. Будова кристала в області призматичної дислокації.	6
26	Побудова контура Бюргерса навколо дислокації і визначення вектора Бюргерса. Особливості вектора Бюргерса, його інваріантність. Запис вектора Бюргерса і розрахунки потужності на прикладах примітивної, об'ємноцентрованої і гранецентрованої ґраток.	6
27	Визначення густини дислокацій, чисельні значення густини дислокацій для моно- і полікристалів після відпалу і холодної пластичної деформації. Вплив густини дислокацій на міцність матеріалів. Методи виявлення дислокацій: просвічувальна електронна мікроскопія, метод ямок травлення, спостереження дислокацій в інфрачервоному мікроскопі, рентгенівська топографія.	6
28	Взаємодія дислокацій різного знаку. Утворення дислокаційних стінок. Повні і часткові дислокації, приклади для різних типів ґраток. Запис дислокаційних реакцій при взаємодії дислокацій. Реакції об'єднання, розщеплення і перекомутації. Геометричний і енергетичний критерії дислокаційних реакцій в основних ґратках металів.	6
29	Утворення дефектів пакування в ГЦК і ГЦП ґратках. Запис дефектів пакування впровадження і віднімання, геометрична схема розташування площин в області дефектів пакування. Енергія дефектів пакування, експериментальне спостереження дефектів пакування в електронному мікроскопі.	6
30	Двійникування як механізм пластичної деформації. Розташування атомів в області двійника. Кристалографічна система площин і напрямків при двійникуванні. Експериментальне виявлення двійників в структурі сплавів.	6
31	Великокутові і малокутові границі зерен. Моделі будови великокутових границь, кут і разорієнтації ґраток суміжних	6

	зерен. Вектор і кут раз орієнтації. Границі нахилу і кручення. Види переміщення великокутових границь зерен. Рушійна сила при міграції границь.	
32	Будова мало кутових границь субзерен, утворення дислокаційних стінок, відстань між дислокаціями в стінках. Полігональна структура. Будова когерентної міжфазної границі, її відміна від некогерентної. Вплив дисперсійних частинок із когерентним зв'язком на властивості сплавів. Принцип Конобеєвського-Данкова при утворенні зародків із когерентною границею.	6
	Разом	166

## 8. Індивідуальні завдання

-

## 9. Методи навчання

- розповідь – для оповідної, описової форми розкриття навчального матеріалу;
- пояснення – для розкриття сутності певного явища, закону, процесу;
- бесіда – для усвідомлення за допомогою діалогу нових явищ, понять;
- ілюстрація – для розкриття предметів і процесів через їх символічне зображення (малюнки, схеми, графіки);
- практична робота – для використання набутих знань у розв'язанні практичних завдань;
- індуктивний метод – для вивчення явищ від одиничного до загального;
- дедуктивний метод – для вивчення навчального матеріалу від загального до окремого, одиничного;
- проблемний виклад матеріалу – для створення проблемної ситуації.

## 10. Очікувані результати навчання з дисципліни

Освоїти основи геометричної кристалографії, що розглядає закономірності зовнішньої форми кристалів, та структурної кристалографії, що вивчає атомну будову кристалів. Визначити основні типи кристалічних ґраток та їх характеристики. З'ясувати основні види та геометрію дефектів будови кристалічних ґраток. Поглиблення знань, щодо ролі внутрішньої кристалічної будови у формуванні властивостей різних матеріалів.

## 11. Засоби оцінювання

При рубіжному контролі та іспиті враховуються усі види робіт, які виконуються студентами:

- відвідування лекцій та активна участь при вирішенні проблем;
- виконання та захист лабораторних робіт;

- результати письмових відповідей на поставлені питання при рубіжних контролях;
- результати письмових відповідей при проведенні іспиту.

### Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота					Підсумковий тест (іспит)	Підсумкова середньозважена оцінка
Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2			100	100
T1	T2	T1	T2	T3		
50	50	20	60	20		

T1, T2 ... T12 – теми змістових модулів.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
85-89	<b>B</b>	добре	
75-84	<b>C</b>	задовільно	
70-74	<b>D</b>		
60-69	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

### Методи контролю

Для студентів денної форми навчання: усне опитування на лабораторних заняттях, аудиторна контрольна робота, тестування.

Для студентів заочної форми навчання: захист контрольної роботи, тестування.

### Перелік методичних та технічних засобів

1. Перелік лабораторних робіт.
2. Плани лабораторних робіт.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт.

4. Індивідуальні завдання для виконання лабораторних робіт.
5. Перелік питань до рубіжного контролю (№1 та №2)
6. Тестові завдання і задачі до рубіжного контролю (№1 та №2)
7. Критерії оцінювання знань за результатами рубіжного контролю (№1 та №2)
8. Перелік питань до іспиту.
9. Набір завдань для кожної лабораторної роботи.

Технічні засоби: просторові макети кристалічних ґраток, макети кристалів, плакати.

## **12. Методичне забезпечення**

1. Методичні вказівки та завдання до виконання лабораторних і контрольних робіт із дисципліни «Кристалографія та дефекти кристалічної будови» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної та заочної форми навчання / Укл. Л. П. Степанова, В. Я. Грабовський, О. В. Лисиця–Запоріжжя: ЗНТУ, 2019.-82с.

2. Навчальні моделі кристалів, макети просторових ґраток, сітка Вульфа.

## **13. Рекомендована література**

### **Базова**

1. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. / Новиков И.И., Розин К.М. - М.: Металлургия, 1990,- 336с.
2. Шаскольская М.П. Кристаллография. . / Шаскольская М.П. -М: Высшая школа, 1976, -391с.
3. Розин К.М., Практическое руководство по кристаллографии и кристаллохимии. Методы описания кристаллических структур. / Розин К.М., Гусев Э.В - М.: Металлургия, 1985,- 167с.
4. Васильев Д.М. Физическая кристаллография, Учебное пособие / Васильев Д.М. –М.: Металлургия, 1981-256с.

### **Допоміжна**

1. Вегман Е.Ф. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография: [учебное пособие для вузов] / Руфанов Ю.Г., Федорченко Н.Н.- М. Металлургия, 1990.-262с.
2. Келли А. Кристаллография и дефекты в кристаллах, пер. с англ. Келли А., Гровс Г.-М.: Мир, 1974. – 490с.
3. Уманский Я.С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: учебник [для студ. высш. учеб. заведений] / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.И.-М. Металлургия, 1982.- 631с.
4. Солодовников С.Ф. Основные термины и понятия структурной кристаллографии и кристаллохимии (словарь-пособие). Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2005. 113 с.

**14. Інформаційні ресурси**

1. Google Академія <http://scholar.google.com.ua/>
2. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
3. Материаловедение <http://www.materialscience.ru/>
4. Кристалографія <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/TM/lecture1.htm>



## СИЛЛАБУС

### КРИСТАЛОГРАФІЯ І ДЕФЕКТИ КРИСТАЛІЧНОЇ БУДОВИ

**Тип:** нормативна

**Курс (рік навчання):** 2-й

**Семестр:** 3-й

**Кредити:** 6

**Викладач:** Степанова Любов Петрівна, канд. техн. наук, доцент;  
Джуган Олександр Андрійович, старший викладач; Лисиця Олена Володимирівна, старший викладач.

**Розподіл годин:** загальна кількість 180 годин (28 лекцій, 28 лабораторних занять, 166 годин самостійної роботи).

Лекції, лабораторні роботи, індивідуальні завдання.

**Мета:** опанування студентами знань, щодо зовнішньої та внутрішньої будови кристалів, дефектів кристалічної структури реальних кристалів та їх впливу на властивості матеріалів.

**Завдання:** розвинення знань та практичних навичок студентів у визначенні особливостей кристалічної будови металів та сплавів. Поглиблення розуміння процесів кристалізації та властивостей сплавів металевих систем, опанування закономірностей будови кристалічних структур. Засвоєння основ геометричної та структурної кристалографії.

**Вміст курсу:** освоєння основних принципів побудови кристалографічних проекцій; визначення елементів та запис формули симетрії кристалів; методи визначення кристалографічних символів; типи елементарних комірок; щільнопаковані структури; дефекти кристалічної будови.

#### Структура курсу:

1. Вступ. Основні історичні етапи розвитку кристалографії, як науки. Основні чотири напрямки вивчення кристалографії. Геометрична кристалографія. Структурна кристалографія і кристалохімія, кристалофізика та фізико-хімічна кристалографія. Задачі і зв'язки всіх напрямків. Можливості формування оптимальної структури для забезпечення необхідних властивостей матеріалів.

2. Зв'язок кристалографії із іншими науками. Види кристалів: моно- і полікристалами. Умови росту і спосіб одержання монокристалів, їх особливості. Формування зеренної

структури в полікристалічних матеріалах. Текстура, сутність та умови утворення в полікристалах.

3. Основні властивості кристалів: огранка, симетрія, анізотропія. Поліморфізм та ізоморфізм. Закон Вульфа щодо утворення певної форми кристала. Поняття континуума і дисконтинуума. Поняття нескінченного атомного ряду і вектора трансляції. Вузли ґратки і кристалографічна площина. Просторова ґратка, трансляційна комірка. Геометричні і лінійні параметри елементарної комірки.

4. Закон постійності кутів. Особливості кристалографічних проєкцій. Поняття прямого і оберненого точкового комплексу. Правило для одержання комплексу. Приклади точкового комплексу для гексаедра, октаедра, тетраедра. Особливості проєктування кристалів. Елементи сферичної проєкції: вісь, сферична поверхня проєкції, нульовий меридіан. Поліус грані. Полярна відстань і довгота, кутові інтервали зміни сферичних координат. Способи зображення поліусів граней. Стереографічна проєкція. Стереографічні проєкції напрямків і площин в залежності від їх орієнтації. Способи зображення.

5. Властивості стереографічної проєкції і її використання для вирішення задач. Гномостереографічна проєкція, її застосування. Устрій координатної сітки Вульфа, принцип її побудови і способи визначення заданих проєкцій. Приклади задач для визначення кількісних співвідношень між елементами кристала проєктуванні.

6. Симетрія кристалів. Симетричні перетворення: відображення в точці або інверсія; дзеркальне відображення в площині; поворот на певний кут; складна взаємодія інверсії і повороту. Елементи симетрії: центр симетрії, площина, прості поворотні і інверсійні осі. Правило для визначення центра і площини симетрії. Мінімальний кут повороту для суміщення кристала. Порядок осі симетрії. Закон симетрії.

7. Інверсійні осі. Взаємодія інверсійних осей із іншими елементами симетрії. Використання стереографічної проєкції для проєктування елементів симетрії. Особливості позначення їх на проєкції. Взаємодія елементів симетрії. Теорема Ейлера. Основні теореми для визначення формули симетрії. Використання стереографічної проєкції для вирішення задач при визначенні сумарної дії при складанні елементів симетрії.

8. Міжнародне позначення точкової групи кристала. Позначення елементів симетрії, використання теорем складання. Проєктування елементів симетрії, установка кристалів при проєктуванні відносно координатних осей. Одиначні і

симетрично рівні напрямки в кристалах. Прості форми і комбінації.

9. Елементи симетрії просторових нескінчених структур (дисконтинуума); трансляція, площини ковзаючого відбиття, гвинтові осі. Порядок осі. Точкові і просторові групи. Історія питання. Роль Федорова і Шенфліса. Принцип Неймана. Зв'язок між симетрією і анізотропією властивостей.

10. Особливості використання кристалографічних символів для позначення вузлів, напрямків і площин. Позначення сукупностей симетрично рівних напрямків і площин. Залежність кількості площин в сукупності від сингонії. Індокси Мілера-Браве в гексагональній сингонії.

11. Кристалографічна зона, умова зональності Вейса. Зони в кристалах. Визначення площини по заданим індексам напрямків (мнемонічне правило перехресного множення). Визначення кута між площинами. Формули для розрахунків міжплощинних відстаней для різних сингоній. Типи двомірних ґраток. Ретикулярна щільність площин. Визначення найбільш щільно пакованих площин в ґратках металів.

12. Визначення типу просторової ґратки Браве і правило вибору елементарної комірки. Примітивна, базоцентрована, об'ємноцентрована і гранецентрована комірки, розташування атомів. Базис кристалічної структури. Визначення базисної матриці для типових кристалічних структур. Причини відсутності деяких типів комірок в ґратках різних сингоній.

13. Координаційний багатогранник і визначення координаційного числа ґраток металів. Підрахунки коефіцієнта компактності. Розташування атомів, базисна матриця в складних структурах (ГЦП, графіту, алмазу). Визначення атомних радіусів. Іонні і ковалентні радіуси. Вплив кристалохімічних факторів на кристалічну структуру. Поліморфні перетворення. Взаємна орієнтація ґраток модифікацій при поліморфному перетворенні в залізі, титані і кобальті. Об'ємний ефект в олові. Зміна властивостей.

14. Характеристика найбільш щільних пакувань в ГЦП і ГЦК ґратках. Правила їх визначення в кристалічних структурах. Октаедричні і тетраедричні порожнини в ґратках. Їх розташування і розміри. Особливість октаедричних пор в ГЦП ґратці, їх вплив на процеси дифузії. Структурні типи фаз в металічних системах. Епітаксіальні структури. Кристалічна орієнтація епітаксіального шару і підкладки. Критерій оцінки можливості епітаксії. Характеристики епітаксії в металічних фазах.

15. Поняття макро- і мікроскопічного розміру дефекту. Точкові нульвимірні дефекти. Власні і домішкові дефекти.

Зміщення атомів навколо вакансії. Утворення вакансій за механізмом Шоттки. Дефект Френкеля. Поняття стоків. Міжвузлові атоми. Енергія утворення вакансій і міжвузлових атомів. Зв'язок із температурою плавлення металів.

16. Конфігураційна і коливальна ентропія. Рівноважна концентрація вакансій. Енергія активації міграції вакансій. Міграція міжвузлових атомів. Вакансійний механізм міграції домішкових атомів заміщення. Роль октаедричних і тетраедричних пор в міграції атомів впровадження при їх переміщенні.

17. Комплекси точкових дефектів: дівакансії і тетравакансії, вакансійні пори, гантель краудіон. Зміна концентрації вакансій при гартуванні і відпалу. Методи визначення концентрації вакансій.

18. Основні типи дислокацій. Поняття зсуву, як спосіб утворення дислокації. Спотворення в ґратці навколо екстра площини. Позитивна і негативна дислокації. Крайова дислокація як границя області зсуву в кристалі.

19. Ковзання крайової дислокації. Атомний механізм переміщення крайової дислокації. Площини ковзання дислокацій і швидкість їх переміщення. Переповзання крайової дислокації як консервативне переміщення із переносом маси. Утворення порогів при перепованні крайової дислокації.

20. Гвинтова дислокація. Утворення атомної площини у вигляді гелікоїда. Розташування атомів в ядрі гвинтової дислокації. Відміна гвинтової дислокації від крайової. Ковзання гвинтової дислокації. Множинне поперечне ковзання. Змішані криволінійні дислокації. Утворення плоскої дислокаційної петлі усередині кристала. Призматичні дислокації. Будова кристала в області призматичної дислокації.

21. Побудова контура Бюргерса навколо дислокації і визначення вектора Бюргерса. Особливості вектора Бюргерса, його інваріантність. Запис вектора Бюргерса і розрахунки потужності на прикладах примітивної, об'ємноцентрованої і ґранецентрованої ґраток.

22. Визначення густини дислокацій, чисельні значення густини дислокацій для моно- і полікристалів після відпалу і холодної пластичної деформації. Вплив густини дислокацій на міцність матеріалів. Методи виявлення дислокацій: просвічувальна електронна мікроскопія, метод ямок травлення, спостереження дислокацій в інфрачервоному мікроскопі, рентгенівська топографія.

23. Взаємодія дислокацій різного знаку. Утворення дислокаційних стінок. Повні і часткові дислокації, приклади для різних типів ґраток. Запис дислокаційних реакцій при взаємодії

дислокацій. Реакції об'єднання, розщеплення і перекомутації. Геометричний і енергетичний критерії дислокаційних реакцій в основних ґратках металів.

24. Утворення дефектів пакування в ГЦК і ГЦП ґратках. Запис дефектів пакування впровадження і віднімання, геометрична схема розташування площин в області дефектів пакування. Енергія дефектів пакування, експериментальне спостереження дефектів пакування в електронному мікроскопі.

25. Двійникування як механізм пластичної деформації. Розташування атомів в області двійника. Кристалографічна система площин і напрямків при двійникуванні. Експериментальне виявлення двійників в структурі сплавів.

26. Будова мало кутових границь субзерен, утворення дислокаційних стінок, відстань між дислокаціями в стінках. Полігональна структура. Будова когерентної міжфазної границі, її відміна від некогерентної. Вплив дисперсійних частинок із когерентним зв'язком на властивості сплавів. Принцип Конобеєвського-Данкова при утворенні зародків із когерентною границею.

Курс складається з 6.0 кредитів. Паралельно з лекційним курсом студенти виконують лабораторні роботи, кожна з яких присвячена засвоєнню теоретичного матеріалу та при виконанні індивідуального завдання.

### **Результати навчання:**

#### **загальні компетентності:**

- КЗ.01.** Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- КЗ.02.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- КЗ.03.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- КЗ.04.** Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- КЗ.05.** Здатність приймати обґрунтовані рішення.

#### **спеціальні (фахові) компетентності:**

**КС.04.** Здатність працювати в групі над великими інженерними проектами у сфері матеріалознавства

**КС.06.** Здатність використовувати практичні інженерні навички при вирішенні професійних завдань.

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

**КС.08.** Здатність застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності.

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

**ПРН 1.** Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.

**ПРН 2.** Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

**ПРН 7.** Володіти навичками, які дозволяють продовжувати вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**ПРН 8.** Уміти застосувати свої знання для вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі.

**ПРН 10.** Здатність поєднувати теорію і практику для розв'язування інженерного завдання.

**ПРН 11.** Демонструвати навички спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

**ПРН 21.** Уміти здійснювати пошук літератури, консультуватися і критично використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань відповідно до спеціалізації.

Освоїти основи геометричної кристалографії, що розглядає закономірності зовнішньої форми кристалів, та структурної кристалографії, що вивчає атомну будову кристалів. Визначити основні типи кристалічних ґраток та їх характеристики. З'ясувати основні види та геометрію дефектів будови кристалічних ґраток. Поглиблення знань, щодо ролі внутрішньої кристалічної будови у формуванні властивостей різних матеріалів.

1. Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.

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

3. Володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій в обсязі, достатньому для навчання та професійної діяльності.

4. Передавати свої знання, рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і неспеціалістам в ясній і однозначній формі.

7. Володіти навичками, які дозволяють продовжувати вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

8. Уміти застосувати свої знання для вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі.

9. Уміти експериментувати та аналізувати дані.

10. Здатність поєднувати теорію і практику для розв'язування інженерного завдання.

11 Демонструвати навички спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

13. Знати інженерні дисципліни, що лежать в основі спеціальності, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів програми, в тому числі певна обізнаність в їх останніх досягненнях.

14 Описувати будову металів, неметалів, композитів та функціональних матеріалів методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення.

16. Знати та застосовувати принципи проектування нових матеріалів.

21. Уміти здійснювати пошук літератури, консультуватися і критично використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань відповідно до спеціалізації.

24. Уміти використовувати базові методи аналізу речовин, матеріалів та відповідних процесів з коректною інтерпретацією результатів.

27. Знання основних груп матеріалів та здатність обґрунтовано здійснювати їх вибір для конкретного використання.

**Оцінювання:** за результатами засвоєння дисципліни та виконання лабораторних робіт складається іспит. При оцінюванні враховується здатність самостійно обирати оптимальні варіанти дослідження властивостей сплавів. При цьому перевага надається оригінальним рішенням спрямованим на досягнення певного рівня ефективності.

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 усне опитування на лабораторних заняттях, аудиторна контрольна робота, тестування.

Для кінцевого контролю використовується наступна схема оцінювання розподілу балів (за засвоєння тем курсу) з отриманням підсумкової середньозваженої оцінки:

#### Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота					Підсумковий тест (іспит)	Підсумкова середньозважена оцінка
Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2			100	100
T1	T2	T1	T2	T3		
50	50	20	60	20		

T1, T2 ... T12 – теми змістових модулів.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для іспиту, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
85-89	<b>B</b>	добре	
75-84	<b>C</b>		
70-74	<b>D</b>	задовільно	
60-69	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

У разі невідвідування занять з певних тем та несвоєчасного виконання розділів оцінка може знижуватись шляхом віднімання певної кількості балів у відповідності до вищевказаної таблиці. Зниження оцінки може бути скомпенсоване шляхом відпрацювання пропущених занять та виконання додаткових завдань.

**Академічна доброчесність:** студент повинен виконувати роботи самостійно, не допускається залучення при розв'язанні індивідуальних завдань інших студентів. У разі виявлення ознак плагіату робота не зараховується і дисципліна не вважається зарахованою.

### Література:

#### Базова

5. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. / Новиков И.И., Розин К.М. - М.: Металлургия, 1990,- 336с.

6. Шаскольская М.П. Кристаллография. . / Шаскольская М.П. -М: Высшая школа, 1976, -391с.

7. Розин К.М., Практическое руководство по кристаллографии и кристаллохимии. Методы описания кристаллических структур. / Розин К.М., Гусев Э.В - М.:Металлургия, 1985,- 167с.

8. Васильев Д.М. Физическая кристаллография, Учебное пособие / Васильев Д.М. –М.:Металлургия,1981-256с.



### Допоміжна

5. Вегман Е.Ф. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография : [учебное пособие для вузов] / Руфанов Ю.Г., Федорченко Н.Н. - М. Metallurgia, 1990. - 262 с.
6. Келли А. Кристаллография и дефекты в кристаллах, пер. с англ. Келли А., Гровс Г.-М.: Мир, 1974. – 490с.
7. Уманский Я.С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: учебник [для студ. высш. учеб. заведений] / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.И. - М. Metallurgia, 1982. - 631 с.
8. Солодовников С.Ф. Основные термины и понятия структурной кристаллографии и кристаллохимии (словарь-пособие). Новосибирск: ИНХСОРАН, 2005. 113 с.

### 13. Інформаційні ресурси

1. Google Академія <http://scholar.google.com.ua/>
2. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
3. Материаловедение <http://www.materialscience.ru/>
4. Кристаллографія <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/TM/lecture1.htm>