

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

КАФЕДРА ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету ХНУ
імені В.Н. Каразіна
Руслан БОВК



“ ” 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Фізичні властивості металів і сплавів

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий рівень (магістр)

галузь знань 10 природничі науки
(шифр і назва)

спеціальність 104 фізика та астрономія
(шифр і назва)

освітня програма освітня наукова- фізика
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором
(обов'язкова / за вибором)

факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою фізичного факультету

“ 30 ” серпня 2023 року, протокол № 6

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

канд. фіз.- мат. наук, доцент, доцент Тонкопряд А.Г.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики твердого тіла

Протокол № 6 від 28 серпня 2023 року

Завідувач кафедри  Золтан ЗИМАН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (наукової) програми (керівником проектної групи) _____ освітня наукова

назва освітньої програми

Гарант освітньої (наукової) програми  Юрій БОЙКО
(керівник проектної групи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету
Протокол № 7 від 29 серпня 2023 року

Голова методичної комісії  Микола МАКАРОВСЬКИЙ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «**Фізичні властивості металів і сплавів**»
складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки

магістр (ОHP)

(назва рівня вищої освіти)

спеціальності (напряму) 104 фізика та астрономія
спеціалізації

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Курс складається із двох розділів: механічні та дифузійні властивості твердих тіл. Метою викладання навчальної дисципліни є надання студентам знань про фундаментальні закони, закономірності та механізми фізичних процесів, які обумовлюють механічні та дифузійні властивості металів і сплавів, навчити застосовувати здобуті знання для одержання, аналізу та пояснення експериментальних даних при різних умовах випробувань металів і сплавів та прогнозування нових наукових результатів.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни Основними завданнями вивчення дисципліни є засвоєння студентами механізмів основних механічних властивостей металів та сплавів в залежності від умов навантаження в широкому температурному інтервалі та засвоєння студентами знань щодо теоретичних основ дифузії, механізмів дифузії, математичних і експериментальних методів визначення коефіцієнтів дифузії в металах і сплавах..

1.3. Кількість кредитів – 5.

1.4. Загальна кількість годин – 150.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
За вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й

Семестр
2-й
Лекції
24год.
Семінари
24 год.
Контрольні роботи
2
Самостійна робота
102 год.

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: фундаментальні закони, закономірності і механізми фізичних процесів, які описують та обумовлюють механічні та дифузійні властивості металів і сплавів; експериментальні методи та методика для визначення характеристик міцності та пластичності, а також дифузійних параметрів, які визначаються за різних умов випробування з урахуванням впливу дефектів кристалічної структури реальних кристалів та інших факторів впливу.

вміти: застосовувати здобуті знання для одержання, аналізу та пояснення експериментальних результатів, отриманих за різних умов випробування металів і сплавів з широкого спектру питань в дослідницькій роботі в області фізичного матеріалознавства.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Пластичка деформація та руйнування металів і сплавів

Тема 1. Напруження і деформації.

Зміст: Види напружень і деформацій. Пружня деформація. Модулі пружності.

Тема 2. Пластична деформація

Зміст: Основні механізми пластичної деформації: пластична деформація двійникуванням та козанням. Рівняння Орована. Системи ковзання в різних кристалічних структурах.

Тема 3. Деформаційні криві для монокристалів з різним типом кристалічної решітки.

Зміст: Стадійність деформаційних кривих для монокристалів з гранецентрованою кубічною решіткою, з гексагональною щільноупакованою решіткою та з об'ємно-центрованою решіткою. Ефект Баушингера.. Пластична деформація полікристалів.
Тема 4. Механічні характеристики металів: характеристики міцності та пластичності.

Зміст: Механічні характеристики металів, які одержують при випробуванні на розтягування. Залежність границі плинності від розміру зерна. Закон Холла-Петча. Характеристики пластичності.

Тема 5. Руйнування.

Зміст: Крихке руйнування. Тріщина Гріффітса. Механізми зароджування тріщин. В'язке руйнування та ріст мікронесуцільностей.

Тема 6. Жароміцність. Повзучість.

Зміст: Діаграма повзучості. Види повзучості. Криві повзучості. Непружня (оборотня) та логарифмічна повзучість. Високотемпературна (стала) повзучість, її механізм та швидкість. Дифузійна повзучість (повзучість Набарро- Херрінга та повзучість Кобле). Характеристики металів і сплавів, які одержують при випробуванні на повзучість.

Розділ 2. Дифузія. Математичні та експериментальні методи визначення коефіцієнтів дифузії

Тема 7. Дифузія. Кінетика дифузії

Зміст: Класифікація явищ дифузії. Дифузійний потік.

Перше і друге рівняння Фіка.

Тема 8. Концентраційна залежність коефіцієнта дифузії.

Зміст: Метод Больцмана-Матана.

Тема 9. Рішення другого рівняння Фіка.

Зміст: Чисельні методи рішення другого рівняння Фіка для дифузії із постійного та непостійного джерела.

Тема 10 Експериментальні методи визначення коефіцієнтів дифузії.

Зміст: Прямі та непрямі методи визначення коефіцієнтів дифузії.

Залежність коефіцієнта дифузії від температури.

Тема 11. Атомні механізми дифузії в металах. Коефіцієнти самодифузії.

Зміст: Теорія дифузії Френкеля. Обмінний, вакансійний, міжвузловий, краудіонний механізми дифузії та механізм витіснення. Визначення коефіцієнтів самодифузії для атома та вакансії за умов вакансійного механізму. Джерела та стоки вакансій.

Тема 12. Закономірності дифузії в сплавах.

Зміст: Взаємна дифузія. Парціальні коефіцієнти дифузії. Дослід Кіркендала та Смігельскаса. Ефект Кіркендала. Аналіз та формули Даркена..

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин		
	Денна форма		
	Усього	у тому числі	
лекції		С.р.	
1	2	3	4
Розділ 1. Пластична деформація та руйнування металів і сплавів			
Тема 1	10	2	8
Тема 2	10	2	8
Тема 3	10	2	8
Тема 4	11	2	9
Тема 5	11	2	9
Тема 6	11	2	9
Разом за розділом 1	63	12	51
<i>Розділ 2. Дифузія. Математичні та експериментальні методи визначення коефіцієнтів дифузії</i>			
Тема 7	5	2	9
Тема 8	5	2	9
Тема 9	5	2	9
Тема 10	3	1	4
Тема 11	9	2	9
Тема 12		3	11
Разом за розділом 2	63	12	51
Усього годин	126	24	102

4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1.	Сучасні експериментальні методи дослідження трансляційної моди пластичної деформації, обумовленої рухом дислокацій	15
2.	Сучасні експериментальні методи дослідження ротаційної моди пластичної деформації, обумовленої рухом дисклінацій	15
3.	Дислокації Вольтерра. Дисклінації в реальних кристалах, їх роль в розвитку ротаційної моди пластичної деформації.	10

4.	Вплив меж зерен на розвиток пластичної деформації полікристалів в залежності від типу меж зерен.	10
5.	Ознайомитися з методами визначення коефіцієнтів дифузії: мікродифракційними; релаксаційними; магнітними	6
7.	Дифузійні механізми структурних змін при підвищених температурах: – дифузійна повзучість; – дифузійне спікання.	10
8.	Модель і рішення Фішера для дифузії уздовж поверхні з урахуванням відтоку в об'єм	15
9.	Модель і рішення Фішера для дифузії уздовж меж зерен з урахуванням відтоку в об'єм.	15
10	Дифузія вздовж дислокацій, потрійних стиків меж зерен	6
	Разом	102

5. Темі семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Пластична деформація ковзанням Критичне напруження зсуву в моделі Френкеля. Критична міцність на зсув.	2
2.	Основні типи дислокацій в кристалі та способи їх руху в кристалі. Дислокації і трансляційна мода пластичної деформації. Експериментальні методи дослідження трансляційної моди пластичної деформації, обумовленої рухом дислокацій	2
3.	Дислокації Вольтерри. Дисклінації в безперервному середовищі. Дисклінації в кристалічній ґратці (повні та часті Франка. Дисклінації і ротаційна мода пластичної деформації.	2
4.	Залежність механізмів деформації від умов деформування.	2
5.	Тривала міцність.	2
6.	Втома. Шляхи випробувань на втоми. Криві втоми. Природа втомного руйнування, зародження втомних тріщин. Модель Мотта.	2

7.	Визначення коефіцієнта дифузії за допомогою метода скінченних різниць.	2
8.	Прямі методи визначення коефіцієнтів дифузії: з використанням радіоактивних ізотопів та локальний рентгеноспектральний аналіз	2
9.	Методи визначення коефіцієнтів дифузії: які побудовані на вимірюванні зміни структури (металографічний, метод спікання, метод мікротвердості), електронографічний.	2
10..	Шляхи прискореної дифузії. Поверхнева дифузія та її механізми. Дифузія уздовж дислокацій.	2
11..	Шляхи прискореної дифузії. Дифузія вздовж меж зерен та потрійних стиків меж зерен. Рішення задачі: дифузія уздовж меж зерен з урахуванням відтоку в об'єм .	2
12.	Взаємна дифузія. Використання електронографічних досліджень для визначення коефіцієнту взаємної дифузії. Ефект Френкеля першого роду.	2
	Разом	24

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом.

7.Методи контролю

Поточний контроль. Перевірка контрольних робіт. Участь в семінарах.

8.Схема нарахування балів

Підсумковий семестровий контроль в формі екзамену

Поточний контроль, контрольні роботи , участь в семінарах				Екзамен	Сума балів
Розділ 1	Розділ 2	Контрольні роботи, передбачені навчальним планом	участь в семінарах	50	100
T1-T6	T7-T12	2			
5	5	10	30		

9.Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінк	
	для чотирирівневої	для дворівневої шкали
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

14. Рекомендована література

Базова література

1. З.З. Зиман, А.Ф. Сіренко. Основи фізичного матеріалознавства: Навчальний посібник. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2005. – 288 с.
2. Поплавко Ю. М. Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с.
3. Основи фізичного матеріалознавства: навчальний посібник/ В.С. Кшнякин, А.С. Опанасюк, К.О. Дядюра - Суми: Сумський державний університет, 2015. – 466 с.
4. Якименко Ю. Фізичне матеріалознавство. Ч. 1. Основні напрямки матеріалознавства/ Ю.І. Якименко Ю.М., А. С. Воронов, Ю.М. Поплавко, – К. Політехнік, 2011. – 300 с.
5. Богданов В.В. Дифузія в кристалах: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Х.:ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2006. – 232 с.
6. Подопрігора Н.В. Фізика твердого тіла : навчальний посібник / Подопрігора Н.В., Садовий М.І., Трифонова О.М. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2013. – 413 с.
7. Прокопович І.В. Металознавство: навчальний посібник. – Одеса: Екологія, 2020. - 308 с.

Допоміжна література:

7. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Механічна стабільність матеріалів: Навчальний посібник. – Дніпро: НметАУ, 2021. – 109 с.

8. Основи матеріалознавства. Частина 1. Властивості матеріалів та методи їх дослідження. Конспект лекцій для студентів хімічного факультету / Укладачі: Юрченко О.М., Кормош Ж.О., Парасюк О.В.
– Луцьк: Вежа-друк. – 44 с.

Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Бадіян Є.Ю., Тонкопряд А.Г., Шеховцов О.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізичного матеріалознавства: 1. Вивчення пластичної деформації та визначення механічних характеристик металів і сплавів. 2. Вирощування монокристалів”. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007. – 36 с. https://solids.univer.kharkov.ua/book/m_bt_2009.pdf
2. Бадіян Є.Ю., Тонкопряд А.Г., Шурінов Р.В.. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізичного матеріалознавства: дослідження механізмів пластичної деформації полікристалів за допомогою оптоелектронних методик. - Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. - 34 с. https://solids.univer.kharkov.ua/book/book_btsh_2019.pdf
3. Badiyan E. E., Tonkopryad A. G., Shekhovtsov O. V., Shurinov R. V., Zetova T. R., Kazachkova K. S. Determination of Characteristics of Substructure and Orientation Inhomogeneity in Polycrystalline Specimens // Functional Materials. – 2014. – V. 21, № 3. – P. 307–312.
4. Патент на винахід № 89743 Україна, МПК G01B 11/16. Спосіб контролю орієнтаційних змін у кристалічних матеріалах in situ в процесі зовнішнього впливу / Бадіян Є. Ю., Тонкопряд А. Г., Шеховцов О. В., Шурінов Р. В.; заяв. і патентовласник ХНУ імені В. Н. Каразіна. – № а 2009 06455; заявл. 22.06.09; опубл. 25.02.10, Бюл. № 4.
5. Патент на винахід № 104249 Україна, МПК (2013.01), G01N 21/00, G01N 33/20 (2006.1). Спосіб візуалізації орієнтаційної неоднорідності та морфології поверхні монокристала або окремих зерен полікристала / Бадіян Є. Ю., Тонкопряд А. Г., Шеховцов О. В., Шурінов Р. В., Зетова Т. Р., Казачкова К. С.; заяв. і патентовласник ХНУ імені В. Н. Каразіна. – № а 2012 14845; заявл. 24.12.12.; опубл. 10.01.14, Бюл. №

ПИТАННЯ, ЯКІ ВХОДЯТЬ ДО КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

Пружня деформація. Модулі пружності.
Пластична деформація. Основні механізми пластичної деформації.
Пластична деформація двійникуванням. Механізм двійникування.
Пластична деформація ковзанням Критичне напруження зсуву в моделі Френкеля. Критична міцність на зсув.

Рух дислокацій та пластична деформація. Рівняння Орована.
 Системи ковзання в гцк, оцк та гексагональних структурах.
 Стадійність деформаційних кривих для монокристалів з гранецентрованою кубічною та гексагональною щільноупакованою решіткою. Ефект Баушингера.
 Механічні характеристики металів, які одержують при випробуванні на розтягування: границя пружності, фізична та умовна границя плинності, границя міцності.
 Дислокації і трансляційна мода пластичної деформації.
 Дисклінації і ротаційна мода пластичної деформації.
 Крихке руйнування. Тріщина Гріффітса.
 Механізми зароджування тріщин.
 В'язке руйнування та ріст мікронесуцільностей при руйнуванні.
 Діаграма повзучості. Види повзучості. Криві повзучості.
 Непружня (оборотня) та логарифмічна повзучість.
 Високотемпературна (стала) повзучість, її механізм та швидкість.
 Дифузійна повзучість (повзучість Набарро- Херрінга та повзучість Кобле.
 Характеристики металів і сплавів, які одержують при випробуванні на повзучість.
 Види дифузії . Перший та другий закони Фіка.
 Рішення другого закону Фіка за умов, коли
 $D = f(C)$: метод Больцмана –Матано
 Чисельні методи рішення другого рівняння Фіка для дифузії
 а) із постійного джерела;
 б) із непостійного джерела
 Експериментальні методи визначення коефіцієнтів дифузії:
 прями та непрямі методи визначення коефіцієнтів дифузії.
 Атомні механізми дифузії в твердих тілах.
 Температурная зависимость коэффициента диффузии .
 Парціальні коефіцієнти дифузії. Дослід Кіркендала та Смігельскаса. Ефект Кіркендала
 Закономірності дифузії в сплавах. Формули Даркена.

ПИТАННЯ, ЯКІ ВІНОСЯТЬСЯ НА ПІДСУМКОВИЙ ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ

Види напружень і деформацій.
 Пружня деформація. Модулі пружності.
 Пластична деформація . Основні механізми пластичної деформації.
 Пластична деформація двійникуванням. Механізм двійникування.

Пластична деформація ковзанням Критичне напруження зсуву в моделі Френкеля.

Рух дислокацій та пластична деформація. Рівняння Орована.

Системи ковзання в гцк, оцк та гексагональних структурах.

Стадійність деформаційних кривих для монокристалів з гцк - решіткою.

Деформаційні криві для монокристалів з гексагональною щільноупакованою решіткою. Ефект Баушингера

Механічні характеристики металів, які одержують при випробуванні на розтягування. Залежність границі плинності від розміру зерна. Закон Холла-Петча.

Дислокації і трансляційна мода пластичної деформації.

Ротаційна мода пластичної деформації та її механізми.

Руйнування. Типи руйнування.

Крихке руйнування. Тріщина Гріффітса. Механізми зароджування тріщин.

Діаграма повзучості. Види повзучості. Криві повзучості. Непружня (оборотня) та логарифмічна повзучість. Високотемпературна (стала) повзучість, її механізм та швидкість. Дифузійна повзучість (повзучість Набарро- Херрінга та повзучість Кобле).

Характеристики металів і сплавів, які одержують при випробуванні на повзучість.

Класифікація явищ дифузії. Дифузійний потік.

Перше і друге рівняння Фіка.

Метод Больцмана-Матана для визначення коефіцієнта взаємної дифузії.

Площина Матана.

Чисельні методи рішення другого рівняння Фіка для дифузії із постійного джерела.

Чисельні методи рішення другого рівняння Фіка для дифузії з непостійного джерела.

Експериментальні методи визначення коефіцієнтів дифузії.

Прямі методи визначення коефіцієнтів дифузії: з використанням радіоактивних ізотопів (методи зняття шарів, абсорбційні та авторадіографічні методи) та локальний рентгеноспектральний аналіз.

Непрямі методи визначення коефіцієнтів дифузії.

Залежність коефіцієнта дифузії від температури.

Атомні механізми дифузії в металах. Теорія дифузії Френкеля.

Закономірності дифузії в сплавах. Парціальні коефіцієнти дифузії.

Дослід Кіркендала та Смігельскаса. Ефект Кіркендала.

Формули Даркена.

ПРИКЛАД ЕКЗАМЕНАЦІЙНОГО ЗАВДАННЯ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет *фізичний*

Спеціальність *104-фізика та астрономія*

Семестр *10*

Форма навчання *денна*

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): *магістр (ОНП)*

Навчальна дисципліна: **Фізичні властивості металів і сплавів**

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №

- 1 Пластична деформація ковзанням. Критичне напруження зсуву в моделі Френкеля. (20 балів).
- 2 Метод Больцмана-Матана для визначення коефіцієнта взаємної дифузії. Площина Матана. (30 балів).

Загальна сума балів - 50.

Затверджено на засіданні кафедри фізики твердого тіла
протокол № _____ від _____ .2023 р.

Завідувач кафедри _____ (З.З.Зиман)

Екзаменатор _____ (А.Г.Тонкопряд)