

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Кафедра фізики кристалів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан
фізичного факультету

Руслан БОБК
“ _____ ” _____ 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Спецкурс «Структура і механічні властивості металів і сплавів.
Фізика надпластичності»**
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти _____ перший (бакалавр) _____
галузь знань _____ 10 – природничі науки _____
(шифр і назва)
спеціальність _____ 104 – фізика та астрономія _____
(шифр і назва)
освітня програма _____ фізика _____
(шифр і назва)
спеціалізація _____ (шифр і назва) _____
вид дисципліни _____ за вибором _____
(обов’язкова / за вибором)
факультет _____ фізичний _____

2023/2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

30 серпня 2023 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Коршак В.Ф., канд. фіз.- мат. наук., старший науковий співробітник, доцент кафедри фізики кристалів.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол № 6 від 28 серпня 2023 року

Завідувач кафедри Гриньов Б. В.

(підпис)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) _____

назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи)

Лазоренко О.В.

(підпис)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 7 від 29 серпня 2023 року

Голова методичної комісії

Макаровський М.О.

(підпис)

ВСТУП

Програму навчальної дисципліни “Структура і механічні властивості металів і сплавів. Фізика надпластичності” складено відповідно до освітньої програми підготовки

_____ перший (бакалавр) _____

спеціальність _____ 104 Фізика та астрономія _____

освітня програма _____ Фізика _____

спеціалізація _____

1. Опис навчальної дисципліни

1.1 Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів уявлень про будову металевих сплавів, діаграми стану сплавів, фазові перетворення у полікомпонентних системах при зміні температури; сутність і закономірності фізичних процесів, які обумовлюють механічні властивості, у тому числі надпластичність, металів та сплавів; сучасні теоретичні уявлення про механізми цих процесів.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є придбання знань про діаграми стану подвійних та потрійних металевих систем, теоретичні та експериментальні методи побудови діаграм стану; метастабільні стани і утворення нових фаз у полікомпонентних металевих системах; механізми фізичних процесів, які обумовлюють механічні властивості металів та сплавів у широкому інтервалі температур; зв'язок механічних властивостей із структурно-фазовим станом матеріалу; механічні характеристики, які отримують за різних методів випробування; сутність та основні закономірності прояву ефекту надпластичності, його фізичну природу.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики і характеризується складністю та невизначеністю умов (ІК).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК 2).
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК 5).
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК 8).
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК 12).
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики (ФК 1).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК 9).
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики та суміжних галузей (ФК 10).
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних досліджень (ФК 12).
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики та інших природничих наук (ФК 13).
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК 14).

1.3. Кількість кредитів – 5

1.4. Загальна кількість годин – 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	-й
Семестр	
6-й	-й
Лекції	
20 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
12 год.	год.
Лабораторні заняття	
	год.
Самостійна робота, у тому числі	
118 год.	год.
У т. ч. індивідуальні завдання (курсів роботи)	
	год.

1.6. Заплановані результати навчання

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

знати:

основні положення термодинаміки фазових перетворень, діаграми стану подвійних систем, розрахункові та експериментальні методи побудови діаграм стану, механізми розпаду метастабільних фаз у сплавах, особливості структури металів та сплавів, що визначають їх механічні, у тому числі надпластичні, властивості, механізми деформації за різних умов випробувань, експериментальні методи проведення механічних досліджень і одержувані кількісні характеристики механічних властивостей.

вміти:

аналізувати діаграми стану подвійних систем, використовувати знання про структурно-фазовий стан, залежність механізмів деформації та механізмів деформаційного зміцнення від температурно-швидкісних умов випробування для аналізу механічних характеристик і прогнозування механічних властивостей металів та сплавів.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики (ПРН 1).
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій (ПРН 3).
- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики (ПРН 5).
- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики (ПРН 6).

- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН 7).
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН 8).
- Розуміти зв'язок фізики з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних досліджень (ПРН 13).
- Знати і розуміти роль і місце фізики та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду (ПРН 17).
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН 22).
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики (ПРН 23).
- Розуміти місце фізики у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН 24).
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН 25).

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи теорії сплавів. Фазова рівновага і фазові перетворення в конденсованих системах

1.1. Будова металевих сплавів. Механічні суміші. Тверді розчини. хімічні сполуки та проміжні фази у сплавах. Фази проникнення

1.2. Основні положення термодинаміки фазових перетворень. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Співвідношення Еренфеста. Правило фаз Гіббса. Рівновага в подвійних системах. Діаграми стану сплавів

1.3. Діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому та твердому станах. Побудова діаграми стану методом геометричної термодинаміки і методом термічного аналізу. Рівноважна та нерівноважна кристалізація сплавів. Діаграми з точкою рівних концентрацій у мінімумі та в максимумі

1.4. Діаграми стану подвійних систем з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані. Системи з евтектичним перетворенням. Побудова діаграми стану методом геометричної термодинаміки. Кристалізація сплавів евтектичних систем. Структура евтектики

1.5. Діаграми стану та особливості кристалізації подвійних систем із перитектичним перетворенням. Структура перитектики

1.6. Діаграми стану подвійних систем із хімічними сполуками та проміжними фазами

1.7. Діаграми стану систем, компоненти яких мають поліморфні модифікації. Евтектоїдні та перитектоїдні перетворення

1.8. Розрахункові та експериментальні методи побудови діаграм стану. Методи геометричної термодинаміки. Наближення регулярного твердого розчину. Експериментальні методи побудови діаграм стану

Розділ 2. Метастабільні стани і утворення нових фаз у полікомпонентних металевих системах

2.1. Розпад пересичених твердих розчинів. Термодинаміка процесів. Спінодальний розпад

2.2. Розпад твердих розчинів за механізмом утворення та росту зародків. Зонна стадія розпаду пересичених твердих розчинів

2.3. Неперервний та переривистий розпад твердих розчинів

Розділ 3. Загальні уявлення про механічні властивості металів і методи їх дослідження

- 3.1. Фізична сутність механічних властивостей. Напруження і деформації. Механічні випробування. Їх класифікація. Деформаційне та швидкісне зміцнення
- 3.2. Механічні характеристики, отримувані за різних методів випробування. Кількісні характеристики механічних властивостей матеріалів
- 3.3. Пружність і непружність металів. Закон Гука і константи пружних властивостей. Непружність металів. Ефект Баушингера. Внутрішнє тертя
- 3.4. Ефективні та дійсні пружні модулі. Дефект модуля пружності. Оцінка пружних властивостей композиційних матеріалів на металевій основі. Наближення Фойгта, Ройсса і Хілла
- 3.5. Пластична деформація та її вплив на структурний стан кристалічних матеріалів. Механізми пластичної деформації. Стадійність пластичної деформації
- 3.6. Особливості пластичної деформації полікристалів. Зуб і площадка текучості. Смуги Людерса-Чернова.

Розділ 4. Надпластичність металів

- 4.1. Основні ознаки ефекту надпластичності. Феноменологічні особливості надпластичної деформації. Швидкісна залежність напруження течії, показника швидкісної чутливості напруження течії і відносного видовження надпластичних матеріалів
- 4.2. Зв'язок надпластичних властивостей з температурою, розміром зерна, хімічним та фазовим складом. Вплив попередньої деформації на показники надпластичності
- 4.3. Особливості структурного стану полікристалічних матеріалів в умовах надпластичності. Концентрація вакансій і густина дислокацій. Релаксація напружень. Внутрішнє тертя у надпластичних матеріалах
- 4.4. Механізми надпластичної деформації. Зерномежеве проковзування. Експериментальні методи дослідження зерномежевого проковзування. Моделі зерномежевого проковзування. Моделі перестановок і модулі вбудовування. Модель Речінгера. Модель Лі. Модель Ешбі і Веррела. Модель Джифкінса. Роль пористості у надпластичності
- 4.5. Направлений дифузійний масоперенос в умовах надпластичності. Сучасні уявлення про дифузійну повзучість. Повзучість Набарро-Херінга и повзучість Кобла. Експериментальні докази дії механізму дифузійної повзучості в умовах надпластичності
- 4.6. Дислокаційна повзучість. Повзучість, що контролюється ковзанням та переповзанням дислокацій. Моделі внутрішньозеренного дислокаційного ковзання. Моделі Болла і Хатчісона і модель Мукерджи. Модель Джифкінса
- 4.7. Експериментальні методи дослідження внутрішньозеренного дислокаційного ковзання. Особливості внутрішньозеренного дислокаційного ковзання в умовах надпластичності. Взаємозв'язок і роль різних механізмів деформації у забезпеченні надпластичної течії
- 4.8. Надпластичність, пов'язана з протіканням фазового перетворення. Експериментальне підтвердження пластичності перетворення. Природа пластичності за поліморфних перетворень. Пластичність за умов мартенситного перетворення. Практичне використання ефекту надпластичності

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	л.	ін.	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Основи теорії сплавів. Фазова рівновага і фазові перетворення в конденсованих системах						
1.1. Будова металевих сплавів. Механічні суміші. Тверді розчини.		1				4

хімічні сполуки та проміжні фази у сплавах. Фази проникнення						
1	2	3	4	5	6	7
1.2. Основні положення термодинаміки фазових перетворень. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Співвідношення Еренфеста. Правило фаз Гіббса. Рівновага в подвійних системах. Діаграми стану сплавів		1				9
1.3. Діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому та твердому станах. Побудова діаграми стану методом геометричної термодинаміки і методом термічного аналізу. Рівноважна та нерівноважна кристалізація сплавів. Діаграми з точкою рівних концентрацій у мінімумі та в максимумі		1				4
1.4. Діаграми стану подвійних систем з обмеженою розчинністю компонентів у твердому стані. Системи з евтектичним перетворенням. Побудова діаграми стану методом геометричної термодинаміки. Кристалізація сплавів евтектичних систем. Структура евтектики		1	1			5
1.5. Діаграми стану та особливості кристалізації подвійних систем із перитектичним перетворенням. Структура перитектики		1				4
1.6. Діаграми стану подвійних систем із хімічними сполуками та проміжними фазами		1				3
1.7. Діаграми стану систем, компоненти яких мають поліморфні модифікації. Евтектоїдні та перитектоїдні перетворення		1				7
1.8. Розрахункові та експериментальні методи побудови діаграм стану. Методи геометричної термодинаміки. Наближення регулярного твердого розчину. Експериментальні методи побудови діаграм стану		1	1			2
Разом за розділом 1	56	8	2			38
Розділ 2. Метастабільні стани і утворення нових фаз у полікомпонентних металевих системах						
2.1. Розпад пересичених твердих розчинів. Термодинаміка процесів. Спінодальний розпад		1	1			8
2.2. Розпад твердих розчинів за механізмом утворення та росту зародків. Зонна стадія розпаду пересичених твердих розчинів		1	1			3
2.3. Неперервний та переривистий розпад твердих розчинів		1				3
Разом за розділом 2	20	3	2			14
Розділ 3. Загальні уявлення про механічні властивості металів і методи їх дослідження						
3.1. Фізична сутність механічних властивостей. Напруження і деформації. Механічні випробування. Їх класифікація. Деформаційне та швидкісне зміцнення		1	1			4
3.2. Механічні характеристики, отримані за різних методів випробування. Кількісні характеристики механічних властивостей матеріалів		1				6
3.3. Пружність і непружність металів. Закон Гука і константи пружних властивостей. Непружність металів. Ефект Баушингера. Внутрішнє тертя		1	1			1
3.4. Ефективні та дійсні пружні модулі. Дефект модуля пружності. Оцінка пружних властивостей композиційних матеріалів на металевій основі. Наближення Фойгта, Ройсса і Хілла		1				2

1	2	3	4	5	6	7
3.5. Пластична деформація та її вплив на структурний стан кристалічних матеріалів. Механізми пластичної деформації. Стадійність пластичної деформації		1	2			9
3.6. Особливості пластичної деформації полікристалів. Зуб і площадка текучості. Смуги Людерса-Чернова.		1				8
Разом за розділом 3	42	6	4			30
Розділ 4. Надпластичність металів						
4.1. Основні ознаки ефекту надпластичності. Феноменологічні особливості надпластичної деформації. Швидкісна залежність напруження течії, показника швидкісної чутливості напруження течії і відносного видовження надпластичних матеріалів		1				2
4.2. Зв'язок надпластичних властивостей з температурою, розміром зерна, хімічним та фазовим складом. Вплив попередньої деформації на показники надпластичності		1	1			2
4.3. Особливості структурного стану полікристалічних матеріалів в умовах надпластичності. Концентрація вакансій і густина дислокацій. Релаксація напружень. Внутрішнє тертя у надпластичних матеріалах		1	1			4
4.4. Механізми надпластичної деформації. Зерномежеве проковзування. Експериментальні методи дослідження зерномежевого проковзування. Моделі зерномежевого проковзування. Моделі перестановок і модулі вбудовування. Модель Речінгера. Модель Лі. Модель Ешбі і Веррела. Модель Джифкінса. Роль пористості у надпластичності		1	1			6
4.5. Направлений дифузійний масоперенос в умовах надпластичності. Сучасні уявлення про дифузійну повзучість. Повзучість Набарро-Херінга и повзучість Кобла. Експериментальні докази дії механізму дифузійної повзучості в умовах надпластичності		1				1
4.6. Дислокаційна повзучість. Повзучість, що контролюється ковзанням та переповзанням дислокацій. Моделі внутрішньозеренного дислокаційного ковзання. Моделі Болла і Хатчісона і модель Мукерджі. Модель Джифкінса		1				2
4.7. Експериментальні методи дослідження внутрішньозеренного дислокаційного ковзання. Особливості внутрішньозеренного дислокаційного ковзання в умовах надпластичності. Взаємозв'язок і роль різних механізмів деформації у забезпеченні надпластичної течії		1				1
4.8. Надпластичність, пов'язана з протіканням фазового перетворення. Експериментальне підтвердження пластичності перетворення. Природа пластичності за поліморфних перетворень. Пластичність за умов мартенситного перетворення. Практичне використання ефекту надпластичності		1	1			2
Разом за розділом 4	32	8	4			20
Усього годин	150	20	12			118

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Діаграми стану подвійних систем	4
2	Структура сплавів. Тверді розчини, хімічні сполуки та проміжні фази у сплавах	2
3	Розпад пересичених твердих розчинів	2
4	Механізми пластичної деформації металів	2
5	Механічні характеристики, отримувані за різних методів випробування	2
6	Фізична природа ефекту надпластичності	2
7	Особливості процесів масопереносу в умовах надпластичності	2

5. Завдання для самостійної роботи

№	З використанням літературних джерел із списку рекомендованої літератури проробка питань, поставлених викладачем на лекції з теми:	Кількість годин
1	Будова сплавів. Тверді розчини, хімічні сполуки та проміжні фази у сплавах	4
2	Основні положення термодинаміки фазових перетворень. Рівновага у подвійних системах	5
3	Діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому та твердому станах	4
4	Діаграми стану подвійних систем з евтектичним перетворенням	5
5	Діаграми стану подвійних систем з перитектичним перетворенням	4
6	Діаграми стану подвійних систем із хімічними сполуками	3
7	Діаграми стану систем, компоненти яких мають поліморфні модифікації	4
8	Евтектоїдні та перитектоїдні перетворення	3
9	Дифузійні та бездифузійні (мартенситні) фазові перетворення	4
10	Розрахункові та експериментальні методи побудови діаграм стану	2
11	Розпад пересичених твердих розчинів. Термодинаміка процесів	4
12	Спінодальний розпад	4
13	Розпад за механізмом утворення та росту зародків	3
14	Неперервний та переривистий розпад пересичених твердих розчинів	3
15	Фізична сутність механічних властивостей. Напруження і деформації	2
16	Схеми механічного навантаження	1
17	Деформаційні криві за умов активного навантаження. Криві повзучості. Випробування на релаксацію напружень	2
18	Схеми напруженого та деформованого станів за механічних випробувань різних видів	2
19	Механічні характеристики, отримувані за різних методів випробування	3
20	Дефекти кристалічної будови металів	3
21	Пружна деформація. Границя пружності. Закон Гука	1
22	Модулі пружності. Коефіцієнт Пуассона. Непружність металів	2
23	Механізми пластичної деформації. Стадійність пластичної деформації. Пластична деформація ковзанням	3
24	Пластична деформація моно- і полікристалів. Зуб і площадка текучості	2
25	Вплив різних фізичних факторів на розвиток пластичної деформації. Закон Холла-Петча	3
26	Повзучість металів. Низькотемпературна (логарифмічна) повзучість	2

27	Високотемпературна повзучість (повзучість Андраде)	2
28	Повзучість Набарро-Херрінга і повзучість Кобла	2
29	Феноменологія надпластичності	2
30	Основні ознаки надпластичної деформації	2
31	Особливості структурного-фазового стану полікристалів в умовах надпластичності	2
32	Релаксація напружень і внутрішнє тертя у надпластичних матеріалах	2
33	Механізми надпластичної деформації	3
34	Експериментальні методи дослідження механізмів деформації в умовах надпластичності	3
35	Пластичність, зумовлена фазовим перетворенням в умовах деформації	2
36	Природа пластичності в умовах поліморфних перетворень. Пластичність в умовах рекристалізації	2
37	Мікромеханізми і фізичні моделі надпластичної течії	2
	Разом	118

6. Індивідуальні завдання (курсів роботи)

Кожному студенту видається індивідуальне завдання для виконання курсової роботи

Теми курсових робіт

- Фазові перетворення в конденсованих системах. Діаграми стану
- Розрахункові та експериментальні методи побудови діаграм стану
- Механічні властивості металів та сплавів і методи їх дослідження
- Фізичні основи ефекту надпластичності та його практичне використання
- Механізми деформації металів в умовах надпластичності
- Механічні властивості наноструктурованих металічних матеріалів
- Метастабільний стан і утворення нових фаз у полікомпонентних системах. Розпад пересичених твердих розчинів

7. Методи контролю

У навчальному процесі використовуються наступні форми контролю: поточне тестування з кожного розділу та семестровий підсумковий контроль.

Поточне тестування проводиться на заняттях та полягає у виконанні тестових завдань, відповідь на кожне з яких оцінюється у 5 балів.

Семестровий підсумковий контроль здійснюється у формі іспиту. Екзаменаційний білет містить два пункти. Відповідь на кожен пункт оцінюється у 20 балів.

Питання до контролю:

1. Основні положення термодинаміки фазових перетворень
2. Діаграми фазової рівноваги. Правило фаз Гіббса. Рівновага у подвійних системах
3. Рівноважна і нерівноважна кристалізація сплавів
4. Діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому та твердому станах
5. Діаграми стану подвійних систем з евтектичним перетворенням
6. Діаграми стану подвійних систем з перитектичним перетворенням
7. Діаграми стану подвійних систем із хімічними сполуками та проміжними фазами
8. Діаграми стану систем, компоненти яких мають поліморфні модифікації
9. Дифузійні та бездифузійні (мартенситні) фазові перетворення
10. Кінетика фазових перетворень. Кінетика Аврамі
11. Розпад пересичених твердих розчинів. Термодинаміка процесів

12. Спінодальний розпад
13. Розпад за механізмом утворення та росту зародків
14. Зонна стадія розпаду пересичених твердих розчинів
15. Неперервний та переривистий розпад
16. Фізична сутність механічних властивостей. Напруження і деформації
17. Механічні випробування. Їх класифікація
18. Механічні характеристики, отримувані за різних методів випробування
19. Гука і константи пружних властивостей
20. Непружність металів. Ефект Баушингера. Внутрішнє тертя
21. Пластична деформація та її вплив на структурний стан кристалічних матеріалів
22. Механізми пластичної деформації. Стадійність пластичної деформації
23. Особливості пластичної деформації полікристалів
24. Деформаційне старіння
25. Основні ознаки ефекту надпластичності. Феноменологічні особливості надпластичної деформації
26. Швидкісна залежність феноменологічних параметрів надпластичної деформації
27. Зв'язок надпластичних властивостей з температурою, розміром зерна, хімічним та фазовим складом
28. Особливості структурного стану полікристалічних матеріалів в умовах надпластичності
29. Релаксація напружень у надпластичних матеріалах
30. Внутрішнє тертя у надпластичних матеріалах
31. Механізми надпластичної деформації. Зерномежеве проковзування
32. Направлений дифузійний масоперенос в умовах надпластичності
33. Сучасні уявлення про дифузійну повзучість. Повзучість Набарро-Херінга і повзучість Кобла
34. Дислокаційна повзучість в умовах надпластичності
35. Взаємозв'язок і роль різних механізмів деформації у забезпеченні надпластичної течії
36. Надпластичність, пов'язана з протіканням фазового перетворення
37. Природа пластичності за поліморфних перетворень. Пластичність за умов мартенситного перетворення
38. Роль процесів рекристалізації у виявленні ефекту надпластичності
39. Експериментальні методи дослідження механізмів деформації в умовах надпластичності
40. Мікромеханізми і фізичні моделі надпластичного плину. Теоретичні уявлення про надпластичність

Екзаменаційний білет № 1

1. Фізична сутність механічних властивостей. Напруження і деформації. Схеми механічного навантаження. Одновісні розтяг та стиснення. Випробування при $\dot{\epsilon} = \text{const}$ та $\sigma = \text{const}$. Статичні, динамічні, циклічні випробування
2. Основні положення термодинаміки фазових перетворень. Діаграми фазової рівноваги. Правило фаз Гіббса. Рівновага в подвійних системах

Екзаменаційний білет № 2

1. Діаграми стану подвійних систем з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому та твердому станах. Рівноважна та нерівноважна кристалізація сплавів
2. Механізми надпластичної деформації. Взаємозв'язок і роль різних механізмів деформації у забезпеченні надпластичної течії

Екзаменаційний білет № 3

1. Діаграми стану та особливості кристалізації сплавів подвійних систем з евтектичним перетворенням. Використання правила важеля для визначення відносної кількості фаз на прикладі діаграми фазової рівноваги системи з евтектичним перетворенням
2. Дислокаційна повзучість в умовах надпластичності. Моделі внутрішньозеренного дислокаційного ковзання. Експериментальні методи дослідження внутрішньозеренного дислокаційного ковзання в умовах надпластичності

Екзаменаційний білет № 4

1. Механізми пластичної деформації. Пластична деформація полікристалів. Зуб і площадка текучості. Деформаційне та швидкісне зміцнення
2. Діаграми стану та особливості кристалізації сплавів подвійних систем з перитектичним перетворенням

Екзаменаційний білет № 5

1. Пружна деформація. Границя пружності. Закон Гука. Модулі пружності. Коефіцієнт Пуассона. Непружність металів. Ефект Баушингера. Внутрішнє тертя
2. Основні ознаки надпластичності. Феноменологія надпластичної деформації. Швидкісна залежність феноменологічних параметрів надпластичної деформації

Екзаменаційний білет № 6

1. Направлений дифузійний масоперенос в умовах надпластичності. Сучасні уявлення про дифузійну повзучість. Повзучість Набарро-Херінга і повзучість Кобла
2. Тверді розчини, хімічні сполуки і проміжні фази у сплавах. Діаграми стану подвійних систем із хімічними сполуками та проміжними фазами

Екзаменаційний білет № 7

1. Зерномежове проковзування в умовах надпластичності. Моделі зерномежевого проковзування. Експериментальні методи дослідження зерномежевого проковзування
2. Діаграми стану систем, компоненти яких мають поліморфні модифікації

Екзаменаційний білет № 8

1. Неперервний та переривистий розпад пересичених твердих розчинів
2. Надпластичність, пов'язана з протіканням фазового перетворення. Фізична природа ефекту надпластичності в умовах поліморфного перетворення. Роль динамічної рекристалізації у прояву ефекту надпластичності

Екзаменаційний білет № 9

1. Пластична деформація та її вплив на структурний стан кристалічних матеріалів. Механізми пластичної деформації. Стадійність пластичної деформації
2. Кінетика фазових перетворень. Дифузійні та бездифузійні (мартенситні) фазові перетворення. Кінетика Аврамі

Екзаменаційний білет № 10

1. Механічні характеристики, отримувані за різних методів випробування. Порівняльний аналіз характеристик механічних властивостей різних матеріалів
2. Розпад пересичених твердих розчинів. Термодинаміка процесів. Спінодальний розпад. Розпад за механізмом утворення та росту зародків. Зонна стадія розпаду пересичених твердих розчинів

8. Схема нарахування балів

У результаті поточного контролю студент може отримати: за перший розділ максимум 15 балів; за другий розділ максимум 5 балів; за третій розділ максимум 10 балів; за четвертий розділ максимум 15 балів.

За курсову роботу студент може отримати максимум 15 балів.

Приклад для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Екзамен	Сума
Поточне тестування за темами	Поточне тестування за темами	Поточне тестування за темами	Поточне тестування за темами	Курсова робота	Разом		
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4				
15	5	10	15	15	60	40	100

У разі виявлення факту академічної недоброчесності з боку студента під час екзамену його екзаменаційна оцінка має бути зменшена до 0, а сам студент має бути видалений з аудиторії, де проводиться екзамен (*пункт 7.12.5 «Положення про організацію освітнього процесу в ХНУ імені В. Н. Каразіна», наказ ректора № 0202-1/155 від 21.04.2017 р.»*)

Підсумкова оцінка, що визначається в балах (від 1 до 100 балів), переводиться в оцінку за національною шкалою згідно з наступною таблицею.

Шкала оцінювання

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

9. Рекомендована література

Основна література

1. Барчій І. Є, Переш Є.Ю., Різак В. М., Худолій В. О. Гетерогенні рівноваги. – Ужгород: Закарпаття, 2003. – 212 с.
2. Болеста І. Фізика твердого тіла. – Вид-во відділу ЛНУ імені Івана Франка, 2003. – 479 с.
3. Мудрий С. І., Штаблавий І. І. Фізичне матеріалознавство. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 418 с.
4. Зиман З. З., Сіренко А. Ф. Основи фізичного матеріалознавства: Навчальний посібник. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2005. – 288 с.
5. Дяченко С. С. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч. посібник. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.
6. Kaibyshev O. A. Superplasticity of alloys, intermetallides and ceramics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 1992. – 317 p.
7. Mukherjee A. K. Superplasticity in metals, ceramics and intermetallics. In: Materials Science and Technology. – New York: Wiley, 2006. – P. 408–456.
<https://doi.org/10.1002/9783527603978.mst0056>.
8. Padmanabhan K. A., S. Balasivanandha Prabu, Mulyukov R. R. [et al.] Superplasticity c Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag, 2018. – 526 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31957-0>.

9. Бялік О. М., Черненко В. С., Писаренко В. М., Москаленко Ю. Н. *Металознавство*. – ІОЦ «Політехніка», 2001. – 375 с.
10. Гарнець В. М. *Матеріалознавство*. – Кондор, 2009. – 348 с.
11. Долгов О. М., Колосов Д. Л. *Механічні властивості і конструкційна міцність матеріалів: Навчальний посібник*. – Дніпро, «Дніпровська політехніка», 2022. – 70 с.

Додаткова література

1. Дутка О. І. *Матеріалознавство*. – Кондор, 2009. – 156 с.
2. Гуль Ю. П., Чмельова В. С. *Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів*. – Дніпро, НМетАУ, 2017. – 34 с.
3. Valiev R. Z., Islamgaliev R. K., Alexandrov I. V. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation – *Prog. Mater. Sci.*, 2000, vol. 45. – P. 103–189. [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(99\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(99)00007-9).
4. Kawasaki M., Langdon T. G. Review: achieving superplastic properties in ultrafine-grained materials at high temperatures. – *J. Mater. Sci.*, 2016, vol. 51. – P. 19–32. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9176-9>.
5. Ashby M. F., Verrall R. A. Diffusion-accommodated flow and superplasticity. – *Acta Metall.*, 1973, vol. 21, Iss. 2. – P. 149–163.
6. Nieh T. G., Wadsworth J., Sherby O. D. *Superplasticity in metals and ceramics*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 275 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511525230>.