



# АНОМАЛЬНЕ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (доктор філософії)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Матеріалознавство</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5,5 (165 год), 36 год. практичних занять, 18 год. лекцій, 111 год. СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР</i>
Розклад занять	<a href="https://Rozklad.kpi.ua">https://Rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції: Волошко С.М., професор, д.ф.-м.н. Практичні: Волошко С.М., професор, д.ф.-м.н. 0630759552 - Telegram та Viber voloshko@kpm.kpi.ua voloshkosvetlana13@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<a href="https://classroom.google.com/c/MjYxNDc0NjY4OTkz?cjc=6c5vrwb">https://classroom.google.com/c/MjYxNDc0NjY4OTkz?cjc=6c5vrwb</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна належить до переліку вибірових дисциплін циклу професійної підготовки освітньої програми третього рівня вищої освіти – доктора філософії та складається з одного кредитного модулю.

**Предмет навчальної дисципліни:** закономірності, механізми та кінетика розвитку процесів аномального масоперенесення в твердих тілах – явища міграції атомів на макроскопічні відстані за надзвичайно короткий, в порівнянні зі звичайною термічною дифузією, час.

**Особливість подання цієї проблематики докторам філософії:** особливістю подання матеріалу є наголос на ролі аномального масоперенесення в процесах створення нових матеріалів з різною структурою та унікальними властивостями. Увага приділяється також плануванню натурних експериментів, які дозволяють за декілька секунд змінити склад, структуру та властивості об'єму матеріалу без нагріву із застосуванням методів інтенсивної пластичної деформації (ІПД); покращити механічні властивості з протилежного боку зразка обробкою його поверхні іонними, електронними, світловими пучками.

#### Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є формування у аспірантів компетентностей у відповідності до ОНП, а саме:

<b>Код компетентності</b>	<b>Зміст компетентності</b>
ФК 03	Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у матеріалознавстві, дотичних та міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з матеріалознавства.
ФК 05	Здатність аналізувати стан проблеми в галузі матеріалознавства, ідентифікувати шляхи вирішення та синтезувати нове знання на основі власного досвіду розв'язання проблеми.
ФК 07	Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, модернізації, конструювання та створення нових матеріалів, компонентів та процесів.
ФК 08	Здатність на основі фундаментальних та спеціальних знань проектувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення.

#### **Основні завдання навчальної дисципліни.**

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми, аспіранти після засвоєння кредитного модулю мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

<b>Загальні компетентності (ЗК)</b>	
ЗК.01	Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
ЗК.02	Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей;
<b>Фахові компетентності спеціальності (ФК)</b>	
ФК.03	Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у матеріалознавстві, дотичних та міждисциплінарних напрямках та застосовувати одержані навички для підвищення ефективності сучасного виробництва.
ФК.04	Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, математичне й комп'ютерне моделювання матеріалознавчих задач.
ФК.07	Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, модернізації, конструювання та створення нових матеріалів, компонентів та процесів.

#### **Основні завдання навчальної дисципліни.**

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння кредитного модулю мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

PH06	Використовувати у науковій і практичній діяльності основні тенденції, напрями та перспективи створення нових матеріалів різної природи, основи сучасних методів виробництва конструкційних та функціональних матеріалів, біокомпозитів, матеріалів з відновлювальних джерел.
PH08	Планувати і виконувати експериментальні дослідження у сфері матеріалознавства та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів та обладнання, аналізувати результати експериментів у контексті комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.
PH09	Знати та застосовувати термодинамічні принципи матеріалознавства та закономірності кінетики процесів в матеріалах.

PH10	Знати та використовувати фундаментальні принципи фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання, методи теоретичного та експериментального дослідження структури та властивостей матеріалів, закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення.
------	---

#### Алгоритми дій в стандартних професійних ситуаціях

Працюючи особисто із використанням даних щодо хімічного складу матеріалу або його компонентів, їх структури та властивостей, а також режимів термічної обробки за допомогою обчислювальної техніки та відомих теоретичних моделей проводити швидку оцінку коефіцієнтів дифузії та визначати їх залежність від концентрації, розраховувати енергію активації процесу, аналізувати динаміку розвитку аномального масоперенесення та концентраційний розподіл компонентів у різні моменти часу, встановлювати закономірності кінетики і механізмів масоперенесення в твердих тілах; проводити комп'ютерне імітаційне моделювання процесів аномального масоперенесення.

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

Дисципліна "Аномальне масоперенесення" є вибірковою для підготовки докторів філософії. Для її вивчення необхідні базові знання про будову матеріалів та базові вміння володіння комп'ютером.

#### 3. Зміст навчальної дисципліни

<b>Розділ 1. Механізми та закономірності аномального масоперенесення</b>
<b>Вступ. Предмет і завдання дисципліни</b>
Тема 1.1. Основні методики імпульсних навантажень і дослідження масоперенесення
Тема 1.2. Методики вивчення розподілу атомів, засновані на застосуванні радіоактивних ізотопів
Тема 1.3. Залежність аномального масоперенесення від різних факторів
Тема 1.4 Математичний опис процесів аномального масоперенесення
Тема 1.5 Атомні механізми аномального масоперенесення
<b>Розділ 2 Аномальне масоперенесення в матеріалах із різною структурою</b>
Тема 2.1. Аномальне масоперенесення в аморфних сплавах в результаті нагріву та зовнішніх впливів
Тема 2.2. Аномальне масоперенесення у нанокристалічних матеріалах з ієрархічною структурою
Тема 2.3. Аномальне масоперенесення у нанорозмірних плівках під дією імпульсно-періодичного лазерного випромінювання
Тема 2.4. Аномальне масоперенесення та дефектоутворення у нанорозмірних плівках під час йонного опромінення
Тема 2.5. Аномальне масоперенесення під час інтенсивної пластичної деформації полікристалічних сплавів
Тема 2.6. Практичне використання явища аномального масоперенесення

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література (Усі видання наявні в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та в електронному вигляді за посиланням <https://classroom.google.com/c/MjYxNDc0NjY4OTkz?cjc=6c5vrwb>).

1. Навчальний посібник. Аномальне масоперенесення [текст] / укладачі : С.І. Сидоренко, О.В. Філатов, С.М. Волошко, І.О. Круглов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: Вид-во «САК ЛТД», 2020 (друге видання). – 82 с.
2. Підручник. Теорія тепло- та масопереносу [текст] / автори: С.І. Сидоренко, С.М. Волошко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: Видавництво «Політехніка», 2020. – 220 с.
3. Навчальний посібник. Термодинаміка та кінетика дифузії [текст] / укладачі : С.І. Сидоренко,

С.М. Волошко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: Вид-во «САК ЛТД», 2020. – 103 с.

4. Навчально-методичний посібник. Зерногранична дифузія в нанокристалічних матеріалах з ієрархічною структурою / укладачі: С.І. Сидоренко, С.М. Волошко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – К.: ІВЦ „Політехніка”, 2014. - 95 с.
5. Структура і властивості металів [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» (освітня програма «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання») / Серія «Педагогічне надбання: Ларіков Л.Н.»; укладачі: Сидоренко С.І., Волошко С.М.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 14,98 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 362 с.

**Додаткова література (Усі видання наявні в електронному вигляді за посиланням <https://classroom.google.com/c/MjYxNDc0NjY4OTkz?cjc=6c5vrwb>)**

6. Методичні вказівки. Комп'ютерне моделювання процесів тепло- та масоперенесення в металах та сплавах / укладачі: С.М. Волошко, А.П. Бурмак; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – К.: ІВЦ „Політехніка”, 2013. – 54 с.
7. Навчальний посібник. Сучасні експериментальні методики фізичного матеріалознавства [текст] / укладачі: Волошко С.М., Крутько О.А., Франчік Н.В.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : Вид-во «Навчальна література», 2020. – 100 с.
8. Сидоренко С.І., Макогон Ю.М., Павлова О.П. Тонкоплівкові силіциди. Фактор нанорозмірності – Київ: Наукова думка, 2011. – 389 с.
9. Сидоренко С.І., Васильєв М.О., Волошко С.М. Дифузія в металевих плівках з мікро- та нанорозмірною структурою – Київ: Наукова думка, 2011. – 557 с.
10. Г.І. Прокопенко, Б.М. Мордюк, М.О. Васильєв, С.М. Волошко. Фізичні основи ультразвукового ударного зміцнення металевих поверхонь. – Київ: Наукова думка, 2017. – 466 с.
11. С.І. Сидоренко, Л.М. Березовська, С.М. Волошко. Математичне моделювання процесів дифузії. – Київ: Наукова думка, 2007. – 324 с.
12. О.М. Назаров, М.М. Нищенко. Наноструктури та нанотехнології. – Київ: НАУ, 2012. – 248 с. (навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів з грифом МОН).
13. Б.М. Мордюк, Г.І. Прокопенко, С.М. Волошко, С.О. Соловей, І.М. Клочков, Г.О. Линник, Т.А. Красовський, М.В. Високолян, Ультразвукова ударна обробка конструкцій і споруд транспортного машинобудування / ред. Г.І. Прокопенка, Суми: Університетська книга, 2020. – 310 с.

**Навчальний контент**

**5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<b>Лекція 1. Вступ. Предмет і завдання дисципліни.</b> Предмет, завдання курсу. Місце курсу в комплексі наук фізичного матеріалознавства. Стислий огляд основних питань, що будуть розглядатися. Явище аномального масоперенесення. Структурні рівні масоперенесення. Макроструктурний рівень. Мікроструктурний підхід. Наноструктурний атомно-кінетичний підхід. Основна література: [1] – с. 4-5; [2] – с. 2-15.
2	<b>Лекція 2. Основні методики імпульсних навантажень і дослідження масоперенесення.</b> Ударне механічне навантаження. Навантаження ударними хвилями. Опромінення імпульсами оптичного квантового генератора. Обробка пружними хвилями. Основна література: [1] – с. 5-10; [5] – с. 5-8. Додаткова література: [12] – с. 34-42. <b>Завдання на СРС:</b> Радіоактивність. Методики вивчення розподілу атомів, засновані на застосуванні радіоактивних ізотопів. Методи зняття шарів і авторадіографії. Авторадіографія косих шліфів.
3	<b>Лекція 3. Залежність аномального масоперенесення від різних факторів.</b> Вплив швидкості деформації на масоперенесення. Вплив температури на масоперенесення.

	<p>Вплив типу кристалічної ґратки. Вплив напружень і дислокацій на масоперенесення. Вплив масоперенесення на фазоутворення під дією імпульсної обробки.</p> <p>Основна література: [1] – с. 13-23, [2] – с. 27-33, [5] – с. 67-74.</p> <p>Додаткова література: [12] – с. 11-25, [13] – с. 107-113.</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Порівняння основних закономірностей аномального масоперенесення із закономірностями атомної дифузії, які підпорядковуються рівнянням Фіка.</p>
4	<p><b>Лекція 4. Атомні механізми аномального масоперенесення.</b> Роль дислокацій. Можливість реалізації вакансійного механізму. Можливість реалізації міжвузлового механізму. Утворення точкових дефектів під час імпульсної обробки. "Механічна дифузія" під час деформації.</p> <p>Основна література: [1] – с. 63-70, [2] – с. 123-135, [5] – с. 68-89.</p> <p>Додаткова література: [13] – с. 115-125.</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Порівняння основних механізмів аномального масоперенесення із механізмами атомної дифузії в рамках класичної теорії дифузії.</p>
5	<p><b>Лекція 5. Аномальне масоперенесення у нанокристалічних матеріалах з ієрархічною структурою.</b></p> <p>Наноструктурні та нанокристалічні матеріали. Визначення та класифікації. Особливості будови. Розмірний ефект. Особливості дифузії в наноматеріалах. Модель будови НКМ. Ієрархічна мікроструктура нанокристалічного сплаву. Кінетичні режими ЗГ – дифузії. Самота гетеродифузія. Масоперенесення у наноплівках. Роль потрійних стиків границь зерен. Кінетичні режими, ієрархія шляхів дифузії. Температурна залежність ширини границь зерен.</p> <p>Основна література: [4] – 95 с.</p> <p>Додаткова література: [12] – с. 256-259.</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Комбінована класифікація нанокристалічних матеріалів за формою та хімічним (фазовим) складом кристалітів. Закономірності дифузії в нанокристалічних матеріалах, виготовлених спіканням мелених оксидних порошоків. Методи одержання об'ємних нанокристалічних матеріалів. Експериментальні методики дослідження потрійних стиків границь зерен. Польовий йонний мікроскоп Мюллера. Атомно-зондова томографія.</p>
6	<p><b>Лекція 6. Аномальне масоперенесення у нанорозмірних плівках під дією імпульсно-періодичного лазерного випромінювання</b></p> <p>Моделювання та визначення градієнтних характеристик термічної обробки лазерним опроміненням. Вплив лазерного нагріву на концентраційні зміни в тонкоплівковій структурі Cr/Cu/Ni. Формування впорядкованих структур рельєфу поверхні. Модифікація структури поверхні металевих сплавів при лазерному впливі. Формування екзотичних наноструктурних об'єктів з віссю симетрії 5-го порядку. Впорядковані коміркові наноструктури.</p> <p>Основна література: [1] – с. 24-33, [3] – с. 44-46.</p> <p>Додаткова література: [9] – с. 322-327.</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Використання методів лазерної обробки для реалізації різних технологічних процесів, розрахунки температурних полів під час лазерного нагріву. Особливості формування квазікристалічних наноструктур у стоматологічних сплавах Co-Cr-Mo.</p>
7	<p><b>Лекція 7. Аномальне масоперенесення та дефектоутворення у нанорозмірних плівках під час йонного опромінення.</b></p> <p>Граничні стани в нанорозмірних металевих плівках. Прояв розмірного фактору в наноплівках. Масоперенесення та пороутворення у наноплівках. Зерногранична дифузія, оксидо- та дефектоутворення. Роль напружень. Вплив низькоенергетичного йонного опромінення та термічної обробки на масоперенесення і дефектоутворення в багатшарових плівкових наносистемах на прикладі композиції Ni/Cu/Cr. Йонно-плазмова обробка, вплив на процеси рекристалізації та корозійну стійкість.</p>

	<p>Основна література: [1] – с. 37-47. Додаткова література: [13] – с. 95-99. <b>Завдання на СРС:</b> Ефект дальності. Біла пляма теорії – дальнобійні йони. Акустичні хвилі. Внутрішній фотоефект і зародження гіперзвукової хвилі. Метаморфози на зовнішніх границях.</p>
8	<p><b>Лекція 8. Аномальне масоперенесення під час інтенсивної пластичної деформації полікристалічних сплавів.</b> Наноструктури, сформовані інтенсивною пластичною деформацією. Піскоструминна обробка у рідкому азоті. Ультразвукова ударна обробка (УЗУО) у різних середовищах. Масоперенесення матеріалу бойкового інструменту під час ударного впливу на прикладі сплаву Д16. Електроіскрове легування. Електроіскрове легування в комбінації з УЗУО на прикладі сплаву АМг6. <b>Завдання на СРС:</b> Інтенсивна пластична деформація. Методи ІПД. Особливості формування наноструктур внаслідок ІПД у рідкому азоті. Додаткова література: [13] – с. 156-170, [10] – с. 334-349.</p>
9	<p><b>Лекція 9.</b> Практичне використання аномального масоперенесення. Гаряче кування, прокатка злитків сплавів, ударне зварювання у твердій фазі. Зміцнення приповерхневого шару деталей машин шляхом електроіскрового легування, лазерної обробки, дробоструменевої, ультразвукової обробки або їх комбінацій. Додаткова література: [13] – с. 156-163. <b>Завдання на СРС:</b> Підготовка демонстраційних матеріалів за результатами власних експериментальних досліджень аномального масоперенесення.</p>

#### Практичні заняття

**Основні завдання циклу практичних занять** полягають у формуванні у аспірантів практичних навичок і умінь вирішувати задачі аномального масоперенесення, у тому числі за допомогою комп'ютерних тренажерних програм.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<p><b>Основні методики імпульсних навантажень і дослідження масоперенесення.</b> <i>Мета роботи</i> – розглянути рівняння, які описують тепло- та масоперенесення у металах і сплавах у найбільш загальному вигляді – абсорбція, хімічна реакція, конвективний перенос. Зрозуміти як здійснюється математичний опис більш складних – гетерогенних – процесів, які характерні для прикладних задач матеріалознавства. Основна література: [1] – с. 10-25; [2] – с. 23-44. Додаткова література: [11] – с. 55-62. <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.</p>
2,3	<p><b>Методики вивчення розподілу атомів, засновані на застосуванні радіоактивних ізотопів.</b> <i>Мета роботи</i> – Опанувати методи зняття шарів і авторадіографії, авторадіографії косих шліфів. Провести розрахунки параметрів масоперенесення з використанням методики «контурного кута». Основна література: [1] – с. 26-34; [3] – с. 44-47. <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.</p>
4	<p><b>Залежність аномального масоперенесення від різних факторів.</b> <i>Мета роботи</i> – Провести розрахунки енергії активації, визначити аномальні відхилення. Використати “функцію помилок” для розв’язання конкретних задач масоперенесення, тобто визначення концентрації в дифузійній парі на деякій відстані за різний час відпалу, ширини дифузійної зони та коефіцієнтів дифузії. Набуття практичних навичок по користуванню табульованими значеннями “функції помилок”. Основна література: [2] – с. 31-44; [5] – с. 105-138. Додаткова література: [6] – с. 34-56.</p>

	<b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.
5,6	<b>Математичний опис процесів аномального масоперенесення.</b> <i>Мета роботи</i> – Визначення коефіцієнтів дифузії за наявності дрейфу, що викликаний імпульсним зовнішнім впливом, за методом П.Л. Грузина. Визначення ефективного коефіцієнта дифузії. Основна література: [1] – с. 11-14; [5] – с. 45-53. Додаткова література: [11] – с. 289-292. <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості: Масоперенесення як сполучення механізму випадкових блукань і спрямованого руху атомів. Роль рушійної сили. Вигляд концентраційних профілів після імпульсного впливу. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.
7	<b>Модульна контрольна робота – 1 частина.</b>
8	<b>Атомні механізми аномального масоперенесення.</b> <i>Мета роботи</i> – Вирішення конкретних задач з атомної теорії дифузії і визначення деяких параметрів (частота стрибків і коливань атомів, ентропія переміщення, коефіцієнт дифузії та енергія утворення вакансій, густина дислокацій і т.і.). Основна література: [2] – с. 193-202; [5] – с. 164-169. Додаткова література: [13] – с. 134-141. <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати методики розрахунку енергії активації в атомній теорії. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.
9	<b>Аномальне масоперенесення в аморфних сплавах в результаті нагріву та зовнішніх впливів</b> <i>Мета роботи</i> – Розв’язання конкретних дифузійних задач з використанням ймовірнісних діаграм та номограм, а також за методом “серединного градієнту” Хола-Морабито. Отримання практичних навичок для швидкої оцінки коефіцієнта дифузії в експериментальній практиці. Основна література: [1] – с. 324-340; [3] – с. 94-98; [4] – с. 14-18. Додаткова література: [7] – с. 25-31; [8] – с. 231-234; [12] – с. 125-134. <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.
10,11	<b>Аномальне масоперенесення у нанокристалічних матеріалах з ієрархічною структурою.</b> <i>Мета роботи</i> – Розрахунок коефіцієнтів дифузії за кінетичними кривими поверхневої концентрації, одержаними методом електронної Оже-спектроскопії. <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості: модель Хванга-Баллуфі. Визначення параметрів зернограничної дифузії за методом “поверхневого накопичення”. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки. Основна література: [4] – 95 с. Додаткова література: [8] – с. 11-14; [9] – с. 92-112; [12] – с. 133-154. <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості - методи розрахунку концентраційної залежності коефіцієнтів дифузії: методи Грубе-Еделе, Матано-Больцмана, Хола, Любова-Максимова. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.
12	<b>Аномальне масоперенесення у нанорозмірних плівках під дією імпульсно-періодичного лазерного випромінювання.</b> <i>Мета роботи</i> – Визначення температурних полів та параметрів масоперенесення внаслідок імпульсного впливу. Основна література: [1] – с. 115-123; [3] – с. 33-45. Додаткова література: [10] – с. 222-227. <b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.
13,14	<b>Аномальне масоперенесення та дефектоутворення у нанорозмірних плівках під час йонного опромінення</b>

	<p><i>Мета роботи</i> – Визначення параметрів зернограничної дифузії. Розрахунок коефіцієнтів поверхневої дифузії за експериментальними концентраційними профілями, одержаними методом мас-спектрометрії вторинних іонів – метод Фогеля. Ознайомлення з пакетом програмного забезпечення SRIM (The Stopping and Range of Ions in Matter) для моделювання проникнення заряджених йонів до матеріалу на основі методу Монте-Карло.</p> <p>Основна література: [1] – с. 69-75; [5] – с. 156-164.</p> <p>Додаткова література: [12] – с. 22-25, [13] – 55 -70 с.</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості щодо методів визначення коефіцієнтів поверхневої дифузії. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.</p>
15, 16	<p><b>Аномальне масоперенесення під час інтенсивної пластичної деформації полікристалічних сплавів</b></p> <p><i>Мета роботи</i> – Моделювання натурних експериментів і визначення коефіцієнтів гетеродифузії срібла в золоті, срібла в міді, золота в сріблі, міді в залізі, заліза в міді, нікелю в міді, цинку в алюмінії, вольфраму в молібдені, фосфору в залізі, міді в нікелі. Визначення параметрів самодифузії: нікелю, вольфраму, заліза, срібла, свинцю, енергії активації для вказаної викладачем системи.</p> <p>Основна література: [2] – Розділ 1; [4] – с. 51-68.</p> <p>Додаткова література: [10] – с. 215-233, [11] – 132-144 с.</p> <p><b>Завдання на СРС:</b> Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Зробити висновки.</p>
17	<b>Модульна контрольна робота – 2 частина.</b>
18	<b>Залік.</b>

## 6. Самостійна робота

Вид самостійної роботи студента	Кількість робіт	Норма часу на роботу, год.	Термін часу, год.
Засвоєння додаткових питань до лекцій	9	1	9
Підготовка до практичних робіт та опрацювання результатів	16	4	64
Підготовка до МКР	1	32	32
Підготовка до заліку	1	6	6
		<b>Всього</b>	<b>111</b>

## Політика та контроль

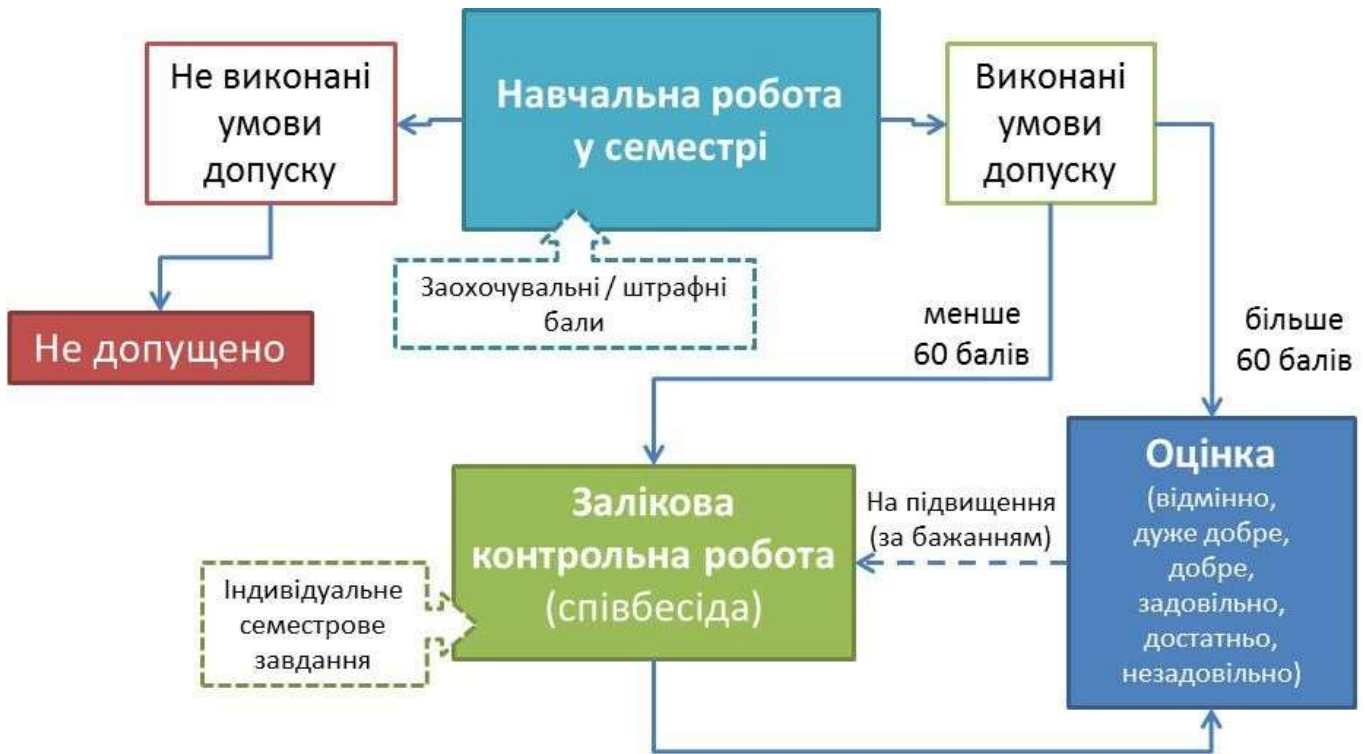
### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

1. Пропущене лекційне заняття необхідно продивитись за допомогою запису ZOOM, законспектувати основні положення, використовуючи матеріали розміщені викладачем в Google Classroom (за посиланням <https://classroom.google.com/c/MjYxNDc0NjY4OTkz?cjc=6c5vrwb>).
2. Практичні заняття проводяться в комп'ютерному класі кафедри. У разі пропуску практичних занять необхідно попередити викладача і дізнатись про шляхи відпрацювання. Допускається використання власних ноутбуків. У разі дистанційного навчання, студент повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету.
3. У разі спізнення на пару, студенту необхідно, не заважаючи іншим, зайти в клас, зайняти своє місце. Користуватись мобільним телефоном можна тільки з дозволу викладача. Звук мобільного телефона повинен бути вимкнений. У разі важливих вхідних дзвінків необхідно спитати дозволу викладача, вийти в коридор і провести розмову там.
4. Користуватись мобільними телефонами під час залікової роботи не дозволяється.
5. До заліку допускаються студенти, які виконали усі практичні завдання та здали 2 частини модульної контрольної роботи.
6. В усіх інших питаннях слухач повинен керуватись Правилами внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського та Положенням про академічну доброчесність КПІ ім. Ігоря Сікорського.



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

Оцінювання результатів навчання відбувається за схемою:



Контрольні заходи:

1. Поточний контроль: виконання практичних завдань, МКР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.
3. Семестровий контроль: залік.

Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Виконання практичних завдань	16	4	64
МКР	1	36	36
<b>Всього</b>			<b>100</b>

Оцінювання виконання практичних завдань:

Критерії	Бали
до виконаного завдання немає зауважень, дані правильні відповіді під час перевірки	4
є не принципові зауваження до виконаного завдання та/або дані відповіді з помилками під час перевірки	3
є принципові зауваження до виконаного завдання та/або не дані відповіді (дані неправильні) під час перевірки	робота не здана
несвоєчасний захист роботи	-1

МКР поділена на 2 частини та відбувається у вигляді проходження тестів. Кожна частина МКР складається з 18 питань. За кожен правильну відповідь студент отримує один бал. Якщо сумарна кількість правильних відповідей менше 11, то ця частина МКР вважається не зданою, при цьому бали не нараховуються. Максимально можлива оцінка за одну частину МКР складає 18 балів. За всі 2 частини – 36 балів.

Умовою допуску до заліку є виконання всіх практичних робіт, здані 2 частини МКР. Семестровий рейтинг можна підвищити за рахунок заохочувальних балів (максимум на 10) шляхом виконання додаткових індивідуальних завдань (видає викладач).

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи або співбесіди.

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи. Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, застосовується «жорстка» РСО – попередній рейтинг здобувача скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи.

Залікова контрольна робота проводиться у вигляді тестування. Слухачу надається 50 тестових завдань. За кожну правильну відповідь студент отримує два бали. Якщо сумарна кількість правильних відповідей менше 30, то залік вважається не зданим (незадовільно). Для перескладання заліку є дві додаткові спроби.

Отриманні слухачем рейтингові бали переводять в університетські оцінки за 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)

В освітньому компоненті “Аномальне масоперенесення” передбачено 2 частини модульної контрольної роботи. Самостійна робота студента (СРС) розподілена рівномірно протягом семестру.

Всі питання, винесені для самостійного опанування, аспіранти мають оформлювати у вигляді стислого конспекту. І перевіряються під час модульної контрольної роботи.

Для покращення сприйняття матеріалу під час аудиторних занять демонструється максимальна кількість наочних прикладів явища аномального масоперенесення та практичних аспектів застосування цього явища, а також результати сучасних експериментальних досліджень у цій галузі у вигляді презентацій.

Засоби змішаного навчання. Упродовж вивчення даної дисципліни студенти повинні самостійно пройти комп’ютерне тестування для перевірки своїх знань в процесі підготовки до модульної контрольної роботи. При вивченні даної дисципліни використовуються навчальні посібники, друкований і електронний підручник, які розміщені в classroom.google за посиланням <https://classroom.google.com/c/MjYxNDc0NjY4OTkz?cjc=6c5vrwb>. Такий підхід забезпечує можливість віддаленого доступу, тобто з навчальних аудиторій, гуртожитка, за межами Києва тощо.

Спілкування з викладачем через Telegram та Viber, електронну пошту.

Перелік запитань до контрольних робіт та семестрового контролю наведено в Додатку.

Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути Perezархований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість Perezарховання (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за

процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті".

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено:** д.ф.-м.н., професор Волошко С.М.

**Ухвалено** кафедрою Фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 32 від 21 червня 2024 р.)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 12 від 28 червня 2024 р.)

**Загальний перелік питань для МКР та залікової робіт  
з курсу «Аномальне масоперенесення»**

**Контрольна робота 1 (до Розділу 1. Механізми та закономірності аномального масоперенесення).**

1. За яких умов відбувається явище аномального масоперенесення?
2. Навести приклади імпульсних впливів, за яких спостерігається аномальне масоперенесення в металах в твердому стані.
3. Охарактеризуйте ударне механічне навантаження, його характерні параметри – час, тиск, швидкість деформації.
4. В чому особливість навантаження ударними хвилями? Наведіть його характерні параметри – час, тиск, швидкість деформації.
5. Охарактеризуйте опромінення імпульсами оптичного квантового генератора, його характерні параметри – час, тиск, швидкість деформації.
6. Обробка пружними хвилями, її характерні параметри – час, тиск, швидкість деформації.
7. Методика вивчення розподілу атомів, заснована на застосуванні радіоактивних ізотопів.
8. В чому полягає вплив швидкості деформації на масоперенесення?
9. Чи можливий прояв явища аномального масоперенесення за криогенних температур?
10. Як впливає тип кристалічної ґратки на рухливість атомів у кристалах для випадку аномального масоперенесення?
11. Які дефекти кристалічної ґратки беруть участь в процесі аномального масоперенесення?
12. Яка можлива роль дислокацій в процесі аномального масоперенесення?
13. За рахунок яких факторів можливе утворення фаз під час аномального масоперенесення, які не відповідають рівноважній діаграмі стану?
14. Які дефекти беруть участь в аномальному масоперенесенні?
15. Як змінюється перший закон Фіка за наявності спрямованого дрейфу?
16. У чому полягає роль рушійної сили аномального масоперенесення?
17. Як виглядає концентраційний профіль за наявності зовнішніх сил?
18. Як змінюється другий закон Фіка за наявності незначної рушійної сили?
19. Коефіцієнт дифузії яких дефектів визначає швидкість дрейфу?
20. За яких умов вакансійний механізм дає суттєвий внесок до аномального масоперенесення?
21. Які дані свідчать на користь участі міжвузлових атомів в реалізації аномального масоперенесення?
22. Охарактеризуйте вплив низькоенергетичного йонного опромінення на аномальне масоперенесення та дефектоутворення в багатошарових плівкових наносистемах.
23. Наведіть приклади практичного використання явища аномального масоперенесення.

**Контрольна робота 2 (до Розділу 2. Аномальне масоперенесення в матеріалах із різною структурою).**

24. Як відбувається еволюція структури поверхні аморфних стрічок в результаті нагріву та зовнішніх впливів?
25. Що таке нанокластерна структура?
26. Що таке полікластерна модель будови аморфних фаз?
27. Які закономірності кінетики поверхневої сегрегації під впливом зовнішніх дій в аморфних сплавах?
28. Як впливає на аномальне масоперенесення охолодження аморфних сплавів до температури рідкого азоту?
29. Як впливає на аномальне масоперенесення витримка аморфних сплавів на повітрі в слабкому магнітному полі?
30. Яким чином відбувається нанокристалізація під дією ультразвукової ударної обробки аморфного сплаву? За яким механізмом?
31. Охарактеризуйте нанокристалічні матеріали з ієрархічною структурою.
32. Наведіть особливості аномального масоперенесення в нанокристалічних матеріалах.

33. Опишіть модель будови НКМ.
34. Що таке ієрархічна мікроструктура нанокристалічного сплаву?
35. Які існують класичні кінетичні режими зернограничної дифузії?
36. Якою є кінетика зернограничної дифузії в матеріалі з ієрархічною структурою?
37. Яким чином відбувається формування періодичних наноструктур під дією лазерного випромінювання?
38. Яким чином відбувається аномальне масоперенесення в нанорозмірних багат шарових плівкових матеріалах?
39. Чи відбувається модифікація структури поверхні металевих сплавів під час лазерного впливу?
40. Наведіть приклади формування екзотичних наноструктурних об'єктів з віссю симетрії 5-порядку.
41. Чи можуть формуватися впорядковані коміркові наноструктури під час лазерного впливу?
42. Надайте характеристику наноструктурам, сформованим інтенсивною пластичною деформацією.
43. Особливості ультразвукової ударної обробки (режими, вплив на структуру та фазові перетворення).
44. Для яких цілей використовується піскоструминна обробка? В яких галузях промисловості?
45. Надайте характеристику методу електроіскрового легування.
46. Чи доцільним є використання комбінованих методів високоенергетичної обробки? В яких випадках?

**Питання до залікової роботи складаються з питань до контрольних робіт.**