



Структура і властивості матеріалів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	G Інженерія, виробництво і будівництво
Спеціальність	G8 Матеріалознавство
Освітня програма	Матеріалознавство
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, 4 семестр (весняний)
Обсяг дисципліни	5 кредитів/150 год: лекції – 18 год; лабораторні заняття – 18 год; самостійна робота студента – 114 год
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен, модульна контрольна робота
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., професор Лобода Петро Іванович loboda@imz.kpi.ua Лабораторні: д.т.н., професор Лобода Петро Іванович
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua https://classroom.google.com/c/MjU4NTg2MjgwNTQ0?cjc=4tcry7j

Програма навчальної дисципліни

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

Метою дисципліни є формування наукового світогляду щодо взаємозв'язку між природою, структурою, термодинамікою та кінетикою процесів формування структури та властивостями матеріалів. Структура матеріалів розглядається на електронному, атомарному, нано-, мезо-, мікро- та макрорівнях.

Предметом вивчення дисципліни є вплив параметрів структурних рівнів на фізико-механічні властивості матеріалів. Особлива увага приділяється впливу атомно-кристалічної будови, мікроструктури (точкових, лінійних, об'ємних дефектів, границь зерен, розміру зерен та пор, розподілу зерен та пор за розмірами), фазового складу та структурно-геометричних характеристик фазових складових на властивості міцності, твердості, пружності, пластичності, тепло і електропровідності гомогенних та гетерогенних об'ємних і шаруватих матеріалів. Наводяться розрахунки теоретичної міцності матеріалів базуючись на величинах прямих критеріїв міцності міжатомного зв'язку та вплив розмірів дефектів мікроструктури (пористості, розміру пор, розміру та розподілу за розмірами зерен і пор, границь зерен, їх когерентності та текстурованості) на реальну в десятки разів нижчу за теоретичну міцність матеріалу.

Мікроструктура розглядається в тісному взаємозв'язку з кінетикою процесів консолідації порошків з розміром частинок від 3-7 нм до 2 мм, під час спікання та відпалу.

Розглядається кінетика процесу ущільнення та росту зерна капілярно-пористого тіла, що одночасно рухається і спікається в присутності рідинної фази в полі температурного градієнту. Описуються механізми процесів коагуляції, коалесценції зерен в капілярно-пористому тілі що представляє собою скелет із частинок тугоплавкої сполуки пронизаної порами заповненими розплавом одного із компонентів тугоплавкої сполуки, взаємодія яких описується діаграмою стану з нерозчинними, частково розчинними компонентами та розчинність одного із компонентів що немонотонно змінюється з температурою. В рамках математичної моделі описується механізм росту зерна внаслідок одночасної реалізації процесів перекристалізації зерен через розплав, коалесценції в присутності рідинної фази, утворення та розпаду твердого розчину згідно з діаграмою стану. На прикладі спрямованої кристалізації узавсі бінарних евтектичних сплавів із тугоплавких сполук розглядається механізм формування композитів мікроструктура яких представляє монокристалічну матрицю із однієї тугоплавкої сполуки, армовану монокристалічними регулярно розташованими волокнами іншої тугоплавкої сполуки. Саме на композитах з монокристалічною матрицею і монокристалічними волокнами розглядається вплив атомно-кристалічної будови, мікроструктури, фазового складу на твердість, міцність, пружність, механізми зміцнення та властивості провідності. Доводиться, що правило адитивності не враховує впливу розмірів та кількості волокон на механізми зерно-граничного, деформаційного зміцнення та зміцнення внаслідок напружено-деформованого стану, який забезпечує напруження розтягування в волокнах композиту. Розкривається роль термічних властивостей фазових складових, їх геометричної форми та розмірів просторового розташування, взаємної кристалографічної орієнтації та будови на напружено деформований стан та фізико-механічні характеристики гетеро фазного матеріалу. Розглядається полярна і ретикулярна анізотропія твердості обумовлена атомно-кристалічною будовою гомогенних монокристалічних, кількістю та розміром, взаємною кристалографічною орієнтацією фаз гетерогенних матеріалів з монокристалічною матрицею. В рамках фізичного експерименту розкривається вплив концентрації домішок, вакансій, лінійних (дислокацій), об'ємних (границі зерен) дефектів, природи та кількості фаз у величини твердості, міцності, тепло та електропровідності гетерогенних матеріалів з монокристалічною матрицею.

Завдання та результати навчальної дисципліни

Вивчення навчальної дисципліни забезпечує набуття у здобувачів професійних компетентностей у відповідності до ОНП, а саме:

- Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, математичне й комп'ютерне моделювання матеріалознавчих задач.
- Здатність аналізувати стан проблеми в галузі матеріалознавства, ідентифікувати шляхи вирішення та синтезувати нове знання на основі власного досвіду розв'язання проблеми.
- Здатність розробляти проекти виробничих технологічних процесів виготовлення виробів з сучасних матеріалів традиційними та генеративними методами.
- 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.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми здобувачі після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

- Знання методології наукових досліджень у предметній області та сучасних методів планування та постановки експериментів;
- Знання новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі матеріалознавства та суміжних сферах
- Знання сучасних методів теоретичного та експериментального дослідження структури та властивостей матеріалів
- Знання закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення
- Знання фундаментальних принципів фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання в матеріалознавстві
- Знання теоретичних засад створення нових матеріалів заданого функціонального призначення: композиційних, наноструктурованих
- Знання сучасних моделей для оцінювання структури та властивостей матеріалів різного функціонального призначення
- Уміння застосовувати аналіз та синтез знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації
- Уміння застосовувати знання наукових принципів матеріалознавства для модернізації та створення нових матеріалів та процесів

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

Дисципліна базується на компетентностях бакалаврського та магістерського рівня спеціальності Матеріалознавство.

Результати вивчення дисципліни формують інтегральну компетентність та необхідні у виконанні науково-дослідної роботи за темою дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Частина 1. Порошкові та композиційні матеріали.

Розділ 1. Ієрархія структурних рівнів порошкових та композиційних матеріалів.

Тема 1.1. Вступ. Концепція ієрархії структурних рівнів

Тема 1.2. Критерії міцності міжатомного зв'язку.

Розділ 2. Кінетика процесу формування мікроструктури порошкових та композиційних матеріалів в полі температурного градієнту

Тема 2.1. Формування структури під час спікання порошкових пресовок у полі температурного градієнту та в умовах великого температурного градієнту і безперервного нагрівання

Тема 2.2. Механізм росту зерна під час спікання в умовах великого температурного градієнту і безперервного нагрівання та механізм первинної очистки під час перекристалізації частинок порошку та зерен через рідинну фазу

Розділ 3. Теоретичні основи фізико-хімічної обробки і формування мікроструктури порошкових матеріалів

Тема 3.1. Модель структури порошкового матеріалу

Тема 3.2. Моделювання процесу теплопередачі вздовж циліндричної пресовки із змінним поперечним перерізом та щільністю

Тема 3.3. Закономірності формування структури евтектичних сплавів під час кристалізації із розплаву

Розділ 4. Фізико-механічні властивості матеріалів з регулярною гетерофазною мікроструктурою “монокристалічна матриця армована монокристалічними волокнами”.

Тема 4.1. Механічні властивості природних композитів LaB_6 - Me^IVB_2 та спрямовано закристалізованих стрижневих евтектичних сплавів B_4C - Me^IVB_2

Тема 4.2. Вплив мікроструктури на фізичні властивості боридної армованої кераміки

Лабораторні заняття

1. Вплив природи та дисперсного стану на властивості теплопровідності гомогенних та гетерогенних матеріалів.
2. Дослідження анізотропії механічних властивостей монокристалів та армованих композиційних матеріалів.
3. Макро, мікронапруження, розмір та розорієнтація областей когерентного розсіювання в монокристалах та армованих гетеро фазних матеріалах з монокристалічною матрицею. Оцінка ОКР та макро- і мікронапружень
4. Аналіз текстурного стану текстур дефрактометрією . Кристалографічні текстури та методи їх дослідження.
5. Рентгеноструктурний аналіз монокристалів.
6. Рентгенографія спрямовано закристалізованих багатофазних композитів.
7. Дослідження тонкої структури монокристалів, композитів та полікристалічних порошкових та композиційних матеріалів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна

1. Будова рідких, аморфних та кристалічних матеріалів : підручник / С. І. Сидоренко, М. В. Белоус, М. О. Васильєв, Є. В. Іващенко, Г. Д. Холоська. – Миколаїв, 1999. – 263 с.
2. Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук : посібник / Г. П. Кисла, П. І. Лобода, В. Є. Федорчук, М. О. Сисоєв. – Київ : «Центр учбової літератури», 2017. – 320 с.
3. Лобода П. І. Спрямовано закристалізовані бориди / П. І. Лобода. – Київ : Праймдрук, 2012. – 395 с.

Допоміжна (Усі видання наявні в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та/або в електронному вигляді).

1. Сучасні експериментальні методики фізичного матеріалознавства : лабораторний практикум для студентів напряму підготовки 050403 „Інженерне матеріалознавство” спеціальності 05040302 „Фізичне матеріалознавство” денної та заочної форм навчання / Уклад.: О. В. Філатов, В. В. Холявко. – Київ : НТУУ „КПІ”, 2014. – 200 с.
2. Development in Data Storage, Materials Perspective / edited by S.N. Piramanayagam and T. C. Chong. – New York : John Wiley & Sons, Inc., 2012. – 87 p.

3. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

3.1. Лекції

Заняття 1. Вступ. Концепція ієрархії структурних рівнів. Критерії апріорної оцінки працездатності матеріалів. Граничні параметри для заданої основної функції застосування матеріалів. Роль мікро та макроструктури в реалізації граничних можливостей. Критерії міцності міжатомного зв'язку. Прямі: температура плавлення; температура випаровування (сублімації, дисоціації); теплота плавлення; теплота випаровування (сублімації); теплота деструкції, дисоціації; хмічний потенціал реакції окисленн. Не прямі: коефіцієнт термічного розширення; температура Дебая; модуль пружності.

Заняття 2. Кінетика процесу формування мікроструктури порошкових та композиційних матеріалів в полі температурного градієнту. Механізм росту зерна та очистки матеріалу зерен під час спікання у присутності рідинної фази в умовах великого температурного градієнту і безперервного нагрівання. Спікання гетерогенних пресовок V_4C-MeV_2 . Спікання гомогенних пресовок із високочистого порошку. Вплив тиску захисного середовища на структуру пресовки, що спікається у температурному градієнті.

Заняття 3. Теоретичні основи фізико-хімічної обробки і формування мікроструктури порошкових та композиційних матеріалів. Принципи моделювання структури порошкового матеріалу. Модель структури порошкового матеріалу

Заняття 4. Моделювання процесу теплопередачі вздовж циліндричної пресовки із змінним поперечним перерізом та щільністю.

Заняття 5. Моделювання процесів формування структури за механізмом поверхневої дифузії. Формування структури за механізмами рідкофазного спікання, дифузійно-в'язкого та в'язкого плин.

Заняття 6. Фізико-математична модель процесу капілярного транспорту рідинної фази (розчинника домішок) по капілярно-пористому тілу, що спікається в полі температурного градієнту. Аналіз результатів фізичного і обчислювального експериментів.

Заняття 7. Закономірності формування структури евтектичних сплавів під час кристалізації із розплаву. Визначення хімічного складу евтектичних сплавів систем $LaV_6-Me^{IV}V_2$. Спрямовано закристалізовані сплави $LaV_6-Me^{IV}V_2$. Закономірності формування структури спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів. Неоднорідність структури спрямовано закристалізованих сплавів $LaV_6-Me^{IV}V_2$.

Заняття 8. Вплив перемішування розплаву на структурно-геометричні характеристики спрямовано закристалізованих сплавів. Вплив кристалографічної орієнтації матричної фази на структурно-геометричні характеристики композитів. Вплив кінетичних параметрів процесу росту на розорієнтацію диборидних волокон. Вплив нестабільності швидкості кристалізації на мікроструктуру евтектичних сплавів. Вплив тиску газового середовища на структурно-геометричні характеристики фазових складових спрямовано закристалізованих композитів $LaV_6-Me^{IV}V_2$.

Заняття 9. Фізико-механічні властивості армованих матеріалів з регулярною гетерофазною мікроструктурою “монокристалічна матриця – монокристалічне волокно”. Механізм зміцнення, тепло і електропровідності в армованих матеріалах з регулярною і нерегулярною

мікроструктурою. Механічні властивості природних композитів LaB₆- MeIVB₂. Механічні властивості спрямовано закристалізованих стержневих евтектичних сплавів B₄C-MeIVB₂. Електропровідність спрямовано закристалізованих матеріалів на основі гексабориду лантану. Вплив природи та мікроструктури на емісійні властивості боридних матеріалів. Термічна стабільність мікроструктури спрямовано армованої кераміки

3.2. Лабораторні заняття

Заняття 1. Вступ. Організація очного/дистанційного навчання. Проведення лекційних і лабораторних занять. Вимоги до протоколу лабораторних робіт. Рейтингова система оцінювання (2 години).

Заняття 2. Вплив природи та дисперсного стану на властивості теплопровідності гомогенних та гетерогенних матеріалів (2 години).

Заняття 3. Дослідження анізотропії механічних властивостей монокристалів та армованих композиційних матеріалів (2 години)..

Заняття 4. Макро-, мікронапруження, розмір та розорієнтація областей когерентного розсіювання в монокристалах та армованих гетерофазних матеріалах з монокристалічною матрицею. Оцінка ОКР та макро- і мікронапружень (2 години).

Заняття 5. Аналіз текстурного стану текстур дефрактотетрії. Кристалографічні текстури та методи їх дослідження (2 години).

Заняття 6 . Рентгеноструктурний аналіз монокристалів (2 години).

Заняття 7. Рентгенографія спрямовано закристалізованих багатофазних композитів (2 години).

Заняття 8. Дослідження тонкої структури монокристалів, композитів та полікристалічних порошкових та композиційних матеріалів (2 години).

Заняття 9. Модульна контрольна робота (2 години).

4. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента складається з:

- підготовки до лекцій, з яких 24 години відводиться на самостійну підготовку 3 теоретичних тем – 36 год.
- підготовки до лабораторних робіт, яка полягає у написанні протоколу, проведенні розрахунків та оформленні результатів роботи – 32 год;
- підготовки до експрес-контролю на лекціях та МКР – 16 год;
- підготовки до екзамену – 30 год.

Протягом семестру здобувачам пропонується опанувати частину матеріалу (більш поглиблено) під час виконання СРС, відповідно до тем лекційних завдань.

Виконання самостійних завдань (СРС) розподіляється упродовж семестру з врахуванням на час для їх виконання.

Всі питання, винесені для самостійного опанування здобувачі мають оформлювати в своєму конспекті. Дата здачі кожної роботи повідомляється в день її видачі.

5. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед аспірантом:

- на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує відповідні додатки для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів, лабораторних робіт; викладач відкриває доступ студентам до матеріалів дисципліни, викладених у classroom для користування електронними матеріалами лекцій та протоколами практичних занять, а також для звітів та відповідей на питання самостійної роботи;
- на лекції та лабораторній роботі заборонено відволікати викладача від викладання матеріалу. Питання та уточнення студенти задають у відведений для цього час в кінці лекції чи протягом лабораторного заняття;
- роботи захищаються після виконання завдання;
- необхідно підготувати звіт з кожної лабораторної роботи з відповідними розрахунками та висновками, відповіді на контрольні питання;
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

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

6.1. Види контролю:

- Поточний контроль: експрес-контроль на лекціях, МКР.
- Семестровий контроль: екзамен.

Рейтингова оцінка з дисципліни складається із двох складових:

- Стартової, що складає 50 балів – оцінювання результатів виконання лабораторних робіт, МКР і тем для самостійного опрацювання;
- Екзаменаційної, що складає 50 балів – призначена для оцінювання окремих запитань (завдань) на екзамені.

Умовою допуску до екзамену є зарахування усіх лабораторних робіт, МКР і завдань із самостійної роботи студента. Кожна лабораторна робота оцінюється у 2 бали; кожна з 3 тем СРС – 4 бали; МКР – 6 балів.

$$O_{\text{стартова}} = \sum O_{\text{ЛР}} + O_{\text{МКР}} + \sum O_{\text{СРС}} = 16 \cdot 2 + 6 + 3 \cdot 4 = 50 \text{ балів.}$$

Стартовий рейтинг має скласти не менше 30 балів (60 % тах $O_{\text{стартова}}$).

Здобувачі можуть отримати додатково 5 балів за активну роботу на заняттях.

Здобувачі, що набрали упродовж семестру не менше 30 балів допускаються до складання екзамену.

Екзамен проводить у формі усного опитування. На підготовку запитань білета відводиться 2 академічних години.

Кожний білет складається із 2 запитань: перше запитання із тем, що входять до Частини 1, друге – до Частини 2 дисципліни (розділ «Лекційні заняття»). Максимальна оцінка за правильну відповідь на кожне теоретичне питання складає 25 балів.

Сумарна максимальна оцінка складає 50 балів, відповідно:

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

Оцінка за відповідь знижується по кожному з питань – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 10-5 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів. Позитивною вважається екзаменаційна оцінка, що складає не менше 30 балів (60 % тах $O_{\text{екзаменаційна}}$).

Після оцінювання відповідей здобувача на екзамені викладач підсумовує стартові бали та бали за екзамен, зводить до рейтингової оцінки та переводить до оцінок за університетською шкалою.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

6.2. Критерії нарахування балів.

Модульна контрольна робота.

Робота складається із 2 теоретичних питань. Кожне питання максимально оцінюється у 3 бали. Сумарна максимальна оцінка складає 6 балів, відповідно:

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

Лабораторні роботи.

До кожної лабораторної роботи здобувач повинен підготувати протокол, який складається із: номера;

назви;

мети;

теоретичних відомостей, до яких включають основні визначання та умовні позначення; порядок виконання.

Штрафні бали нараховуються за:

- відсутність протоколу – 0,5 балів;
- протокол, що не відповідає вимогам – 0,2 балів
- несвоєчасну здачу лабораторної роботи – 0,5 бали.

Самостійна робота студента.

Теми, що виносяться для самостійного опрацювання оцінюються у 4 бали кожна. Повнота розкриття теми впливає на кількість нарахованих балів.

7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Освітній компонент повністю забезпечений навчально-методичною літературою, перелік якої студенти отримують на початку курсу. Також на початку семестру надається силабус, рейтингова система оцінки знань та перелік завдань для самостійної роботи, контрольні питання на поточний та підсумковий контроль. Всі необхідні методичні матеріали для вивчення дисципліни розміщені у системі "Електронний кампус".

Індивідуальне консультування проводиться раз на тиждень згідно з розкладом, затвердженим кафедрою.

Для покращення сприйняття матеріалу, бажано демонструвати упродовж аудиторних занять максимальну кількість прикладів практичного прояву явищ, що обговорюються, тощо.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: професором, д.т.н., професором, Лободою Петром Івановичем

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 3 від 30 вересня 2025 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 2 від 16 жовня 2025 р.)