



# Структурування металів та сплавів та їх властивостей

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Доктор філософії (PhD)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>136 Металургія</i>
Освітня програма	<i>Металургія</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, IV семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6 кредити ECTS, 36 годин лекцій, 36 годин лабораторних занять</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / Модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>Лекція -1 раз на тиждень, лабораторні заняття – 1 раз на тиждень <a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a></i>
Мова викладання	<i>Українська/Англійська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. Мазур Владислав Іустинович mail: <a href="mailto:amico.f@outlook.com">amico.f@outlook.com</a>; <a href="mailto:vlima-iff@ill.kpi.ua">vlima-iff@ill.kpi.ua</a> лабораторні заняття: д.т.н., проф. Мазур Владислав Іустинович</i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/">https:// classroom.google.com/</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Вивчаючи дисципліну, аспіранти узагальнюють власні знання з різних дисциплін та долучаються до світових досягнень в галузі основних принципів теорії росту кристалів, мікроскопічної кінетики багатофазної кристалізації, оптимізації технологічних параметрів процесів структурування з урахуванням технічних, технологічних, економічних та екологічних факторів.

Студенти одержують важливий досвід з використання різних методів обробки металів та сплавів для оптимізації структури та властивостей металургійної продукції без використання екологічно небезпечних інгредієнтів.

Предметом навчальної дисципліни є термодинамічні, фізико-хімічні, кінетичні та технологічні закономірності структурування в одно- та багатокомпонентних системах.

Метою викладання навчальної дисципліни є формування у аспірантів здатностей:

- обґрунтовано здійснювати вибір основних технологій виготовлення та оброблення матеріалів та виробів для конкретного використання;
- обґрунтовано здійснювати вибір матеріалів для конкретних умов експлуатації

а також розвиток загальних компетентностей, які полягають у:

- здатності до системного мислення, аналізу та синтезу
- здатності виявляти, ставити та вирішувати проблеми
- здатності генерувати нові ідеї та реалізовувати їх у вигляді обґрунтованих інноваційних рішень
- здатності використовувати новітні інформаційні технології
- здатності до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень

Після засвоєння навчальної дисципліни аспірант повинен знати:

- Основні принципи термодинаміки рівноважного стану та термодинаміки незворотних процесів
- Методи фізичного, хімічного та термічного впливу з метою досягнення необхідної структури вихідного розплаву перед кристалізацією
- Вплив кінетичних параметрів процесу кристалізації на макро- та мікроструктуру відливки
- Принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями, що приймаються для розв'язання складних матеріалознавчих задач

Аспірант повинен:

- Застосовувати основні положення теорії кристалізації металів і сплавів з метою оптимізації структури та властивостей виробів
- Застосовувати методи фізичного, хімічного та термічного впливу з метою досягнення необхідної структури вихідного розплаву перед кристалізацією
- Застосовувати термо-кінетичні параметри процесу кристалізації з метою досягнення оптимальної макро- та мікроструктури відливки
- Застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями, що приймаються під час розв'язання складних матеріалознавчих задач
- Адаптуватися в змінному професійному середовищі в процесі якісного виконання професійних задач
- Зрозуміло і недвозначно доносити власні знання, висновки та пояснення з проблем матеріалознавства
- Застосовувати вимоги вітчизняних та міжнародних нормативних документів щодо формулювання та розв'язання наукових та науково-технічних задач розробки, виготовлення, випробування, сертифікації, утилізації матеріалів, створення та застосування ефективних технологій виготовлення виробів

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

Дисципліна викладається в четвертому семестрі підготовки за освітньою (освітньо-науковою) програмою підготовки докторів філософії. Для успішного засвоєння дисципліни, аспірант повинен володіти набором компетентностей магістерського рівня.

Дисципліна забезпечує розширення інженерного кругозору в галузі металургії, чим формує набір компетенцій та інтегральну компетентність. Результати вивчення дисципліни можуть бути використані під час виконання розрахунків та оцінці результатів в дисертаційній роботі.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліна – «Структуроутворення металів та сплавів та їх властивостей»

Розділ 1. Основи теорії росту кристалів

*Вступ. Значення теорії росту кристалів в системному аналізі причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями, що приймаються під час розв'язання складних наукових і технологічних задач ливарного виробництва*

*Елементарні процеси росту кристалів. Атомні механізми росту кристалів. Вплив ентропії кристалізації на атомний механізм росту кристалів. Вплив кластероутворення на атомний механізм росту кристалів.*

*Зміна форми фронту кристалізації під впливом домішок в розплаві з  $k < 1$ . Зміна форми фронту по схемі «Пласка > стільникова > дендритна»*

*Розділ 2. Мікроскопічна кінетика кристалізації одно- і багатокомпонентних систем*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації твердих розчинів*

*Мікроскопічна кінетика евтектичної кристалізації*

*Мікроскопічна кінетика перитектичної кристалізації*

*Мікроскопічна кінетика екстектичної кристалізації*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних фаз*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних фаз*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації метастабільних фаз*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації трифазної евтектики*

*Розділ 3. Вплив термокінетичних і концентраційних факторів на структуру і властивості сплавів.*

*Вплив перегріву рідкого сплаву на структуру і властивості закристалізованої відливки*

*Вплив переохолодження рідкого сплаву на структуру і властивості закристалізованої відливки*

*Вплив швидкості кристалізації рідкого сплаву на структуру і властивості закристалізованої відливки*

*Вплив домішок ( $k < 1$ ) рідкого сплаву на структуру і властивості закристалізованої відливки. Зонна очистка металів.*

*Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії.*

*Використання фізико-хімічних методів впливу на рідкий сплав з метою оптимізації структури та властивостей металургійної продукції. Модифікування силумінів. Модифіковані сірих чавунів. Вплив метастабільних фаз. Кристалізація половинчастих чавунів. Використання термічної обробки з метою зміни фазового складу сплавів. Технологія ковальського чавуну.*

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

*Базова література*

- 1. Мазур В.І, Мазур А.В. Введение в теорию сплавов. Днепропетровск.- Изд. Лира ЛТД.- 2009.- 264 с. ISBN 978-966-383-204-3*
- 2. Таран Ю.Н., Мазур В. И. Структура эвтектических сплавов. Москва: Металлургия.- 1978.- 312 с.*
- 3. Мазур В.І.Сплави на основі заліза / В.І. Мазур, В.З. Куцова, О.А. Носко, М.А.Ковзель // Підручник.- Київ: Вид. «Політехніка».- 2015.- 272 с. ISBN 978-966-622-728-0*
- 4. Mazur V. Phase equilibria and phase transformations // Textbook.- Kyiv: Polytechnica.- 2020.- 212 p. ISBN 978-966-990-016-6*

## **Додаткова література**

5. В.І. Мазур, П.І. Лобода. Особливості мікроскопічної кінетики перитектичного перетворення в Fe-C сплавах. *Металознавство та обробка металів.* - №2.-2014.- с. 3 – 8.
6. Мазур В.І., Лобода П.І.. Локальні фазові рівноваги та мікроскопічна кінетика екстектичного перетворення в бінарних сплавах. *Металознавство та обробка металів.* - №3.- 2014.- с. 3 – 9.
7. Мазур В.І., Богомол Ю.І., Упатов М.І. Спрямована кристалізація та 3D структура трифазної чотирикомпонентної евтектики в системі B4C-NbB2-SiC. *Нові технології та матеріали в металургії та машинобудуванні.* - №1.- 2021.- с. 3-13.
8. Mazur A.V., Gasik M.M., Mazur V.I. Study of Ti-Si in situ composite processing by multi-stage eutectic solidification. *Zeitschrift fur metallkunde*, 95 (5), 2004, 377-380.

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел, більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та/чи комп'ютерних практикумів. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект.

## **Навчальний контент**

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

#### **5.1. Зміст лекційних занять**

##### **Розділ 1. Основи теорії росту кристалів**

Лекція 1. Атомна будова рідких металів і сплавів. Кластерна будова рідких металів і сплавів; [1, 2].

Лекція 2. Вплив технологічних факторів на атомну будову рідких металів і сплавів. Поняття про теорію металургійної спадковості; [1, 2].

Лекція 3. Вступ. Значення теорії росту кристалів в системному аналізі причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями, що приймаються під час розв'язання складних наукових і технологічних задач ливарного виробництва.

Елементарні процеси росту кристалів. Атомні механізми росту кристалів. Вплив ентропії кристалізації на атомний механізм росту кристалів. Вплив кластероутворення на атомний механізм росту кристалів; [2].

Лекція 4. Зміна форми фронту кристалізації під впливом домішків в розплаві з  $k < 1$ . Перехід форми фронт по схемі «Пласка > стільникова > дендритна»; [2]

##### **Розділ 2. Мікроскопічна кінетика кристалізації одно- і багатокомпонентних систем**

Лекція 5. Мікроскопічна кінетика кристалізації чистих металів. Мікроскопічна кінетика кристалізації твердих розчинів; [1, 2, 3].

Лекція 6, 7. Мікроскопічна кінетика евтектичної кристалізації; [1, 2, 3].

Лекція 8. Мікроскопічна кінетика перитектичної кристалізації; [1, 2, 5].

Лекція 9. Мікроскопічна кінетика екстектичної кристалізації; [6].

Лекція 10. Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних фаз; [1].

Лекція 11. Мікроскопічна кінетика кристалізації метастабільних фаз; [1].

Лекція 12. Мікроскопічна кінетика кристалізації трикомпонентної евтектики; [7].

Лекція 13. Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії; [8].

**Розділ 3.** Вплив термокінетичних і концентраційних факторів на структуру і властивості сплавів.

Лекція 14. Вплив перегріву рідкого сплаву на структуру і властивості закристалізованої відливки. Вплив переохолодження рідкого сплаву на структуру і властивості закристалізованої відливки. Вплив швидкості кристалізації рідкого сплаву на структуру і властивості закристалізованої відливки; [1, 2, 3].

Лекція 15. Вплив домішків ( $k < 1$ ) рідкого сплаву на структуру і властивості закристалізованої відливки. Зонна очистка металів

Лекція 16. Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії; [8].

Лекція 17. Використання фізико-хімічних методів впливу на рідкий сплав з метою оптимізації структури та властивостей металургійної продукції. Модифікування силумінів. Модифікування сірих чавунів; [1, 3].

Лекція 18. Вплив метастабільних фаз. Кристалізація половинчастих чавунів. Використання термічної обробки з метою зміни фазового складу сплавів. Технологія ковальського чавуну; [3].

## **5.2. Перелік тем практичних занять – 36 годин**

Заняття 1. Лабораторна робота 1. Атомна будова рідких металів і сплавів. Кластерна будова рідких металів і сплавів; [1, 2] – 2 години

Заняття 2. Лабораторна робота 1. Вплив технологічних факторів на атомну будову рідких металів і сплавів. Поняття про теорію металургійної спадковості; [1, 2] – 2 години

Заняття 3. Лабораторна робота 2. Елементарні процеси росту кристалів; [1, 2] – 2 години

Заняття 4. **Модульна контрольна робота** - 2 години

Заняття 5. Лабораторна робота 2. Мікроскопічна кінетика кристалізації однокомпонентних систем

Заняття 6. Лабораторна робота 3. Мікроскопічна кінетика кристалізації твердих розчинів; [1, 2, 3] – 2 години

Заняття 7. Лабораторна робота 4. Мікроскопічна кінетика евтектичної кристалізації; [1, 2, 3] – 2 години

Заняття 8. Лабораторна робота 4. Мікроскопічна кінетика перитектичної кристалізації; [1, 2, 5] – 2 години

Заняття 9. Лабораторна робота 4. Мікроскопічна кінетика екстектичної кристалізації; [6] – 2 години

Заняття 10. Лабораторна робота 4. Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних фаз; [1] – 2 години

Заняття 11. Лабораторна робота 4. Мікроскопічна кінетика кристалізації метастабільних фаз; [1] – 2 години

Заняття 12. Лабораторна робота 4. Мікроскопічна кінетика кристалізації трикомпонентної евтектики; [7] – 2 години

Заняття 13. Лабораторна робота 4. Методи термічного аналізу; [1] – 2 години

Заняття 14. Лабораторна робота 4. Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії; [8] – 2 години

Заняття 15. Лабораторна робота 5. Оптимізація структури та властивостей металургійної продукції. Модифікування сплавів; [3] – 2 години

Заняття 16. Лабораторна робота 5. Мікроскопічна кінетика кристалізації сірого чавуну; [3] – 2 години

Заняття 17. Лабораторна робота 5. Мікроскопічна кінетика кристалізації половинчастого чавуну; [3] – 2 години

Заняття 18. Лабораторна робота 5. Мікроскопічна кінетика технологічних процесів виробництва ковальського чавуну; [3] – 2 години

## **6. Самостійна робота аспіранта – 108 годин**

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 108 годин) з дисципліни полягає в

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для фокусування розглянутих методів аналізу взаємного зв'язку властивостей матеріалів на власні наукові дослідження, що відповідають напрямку PhD - 42 годин;
- підготовці до виконання лабораторних робіт, аналізі одержаних результатів та формулюванні висновків – в розрахунку 1 година на 1 годину виконання лабораторної роботи - 36 годин;
- підготовці до підсумкової атестації – екзамену (30 годин).

## **Політика та контроль**

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

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- Відвідування усіх видів занять є обов'язковим.
- Пропущене без поважної причини лекційне заняття студент повинен відпрацювати шляхом написання конспекту об'ємом 5-8 тис. знаків, не враховуючи рисунків та таблиць;
- Завдання пропущеної лабораторної роботи аспірант повинен виконати в час, узгоджений з викладачем. Якщо пропуск відбувся без поважної причини – з загальної оцінки за комп'ютерний практикум знімається 10% за кожні дві години пропуску.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час лабораторних робіт дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів, тощо.
- Результати виконаних самостійних робіт оформлюються у вигляді звітів з застосуванням текстового редактора. Звіт супроводжується формулами, графіками, копіями екрану – елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати. За дистанційної чи змішаної форми навчання звіт оформлюється засобами google docs, після чого надається доступ для редагування для викладача. За звичайної аудиторної форми навчання звіт виконується в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається у роздрукованому вигляді. Безпосередній захист відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання програмного продукту та методик оптимального вибору для розв'язання реальних задач за тематикою власних наукових досліджень, курсового чи дипломного проектування. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Конспект за пропущеною лекцією має бути виконаний і поданий на перевірку не пізніше 2-х тижнів з часу пропущеної лекції. Звіти з лабораторних робіт виконуються і подаються

на перевірку не пізніше 2-х тижнів з моменту завершення. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.

- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

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

Поточний контроль:

- Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях – максимум 2 бали. Бали за опитування на пропущених лекціях компенсуються виконанням конспекту (див. п.6).
- Захист звітів з лабораторних робіт всього максимально 50 балів:
  - Лабораторна робота 1 максимум 10 балів
  - Лабораторна робота 2 максимум 12 балів
  - Лабораторна робота 3 максимум 12 балів
  - Лабораторна робота 4 максимум 8 балів
  - Лабораторна робота 5 максимум 8 балів
- Модульна контрольна робота проводиться на 7-му навчальному тижні. Вона складається з 7 запитань. Кожне запитання максимально оцінюється у 2 бали. Максимальна оцінка 14 бали.
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен. Екзаменаційна оцінка (min - max) 30 – 50 балів. Завдання складається з 5 запитань, кожне з яких оцінюється у (min - max) 6 – 10 балів.

Умови допуску до семестрового контролю: мінімальний рівень позитивної семестрової оцінки складає 60% від стартового балу (який за 100- бальною шкалою складає 50 балів), тобто **30 балів** за умови виконання усіх лабораторних робіт та кількості балів за видами:

- Лекційні заняття (min - max) 8 – 14 балів;
- Модульна контрольна робота 8 – 14 балів;
- Лабораторні роботи 14 – 22 бала.
- Співвідношення стартових і екзаменаційних балів 50/50.

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

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: професор каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д.т.н., проф. Мазур Владислав Іустинович.

Ухвалено кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

Погоджено Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_) № \_\_ від \_\_\_\_\_)

Повний текст літературного джерела [8]



Zeit Mazur 1.pdf



Zeit Mazur 2.pdf



Zeit Mazur 3.pdf



Zeit Mazur 4.pdf



Zeit Mazur 5.pdf



**Перелік запитань до Модульної контрольної роботи**

1. Охарактеризуйте поняття «ближній порядок атомів в рідкому металі».
2. Які кількісні характеристики описують ближній порядок розплаву?
3. Поясніть деталі кривої функції інтенсивності розсіяного розплавом рентгенівського випромінювання.
4. Що визначає функція радіального розподілення атомної щільності розплаву.
5. Як творяться флуктуації атомної щільності розплаву?
6. Як утворюються атомні кластери в розплаві?
7. Як впливають різні методи фізичного впливу на структуру розплаву?
8. Поясніть поняття металургійної спадковості в металевих сплавах.
9. *Атомні механізми росту кристалів.*
11. *Вплив ентропії кристалізації на атомний механізм росту кристалів.*

**Перелік питань до екзаменаційної контрольної роботи**

1. Охарактеризуйте поняття «ближній порядок атомів в рідкому металі».
2. Які кількісні характеристики описують ближній порядок розплаву?
3. Поясніть деталі кривої функції інтенсивності розсіяного розплавом рентгенівського випромінювання.
4. Що визначає функція радіального розподілення атомної щільності розплаву?
5. Як утворюються флуктуації атомної щільності розплаву?
6. Як утворюються атомні кластери в розплаві?
7. Як впливають різні методи фізичного впливу на структуру розплаву?
8. Поясніть поняття металургійної спадковості в металевих сплавах.
9. Атомні механізми росту кристалів.
11. Вплив ентропії кристалізації на атомний механізм росту кристалів.
12. Зміна форми фронту кристалізації під впливом домішок в розплаві з  $k < 1$ . Перехід форми фронту від пласкої через стільникову до дендритної;
13. Мікроскопічна кінетика кристалізації чистих металів. Мікроскопічна кінетика кристалізації твердих розчинів;
14. Мікроскопічна кінетика евтектичної кристалізації;
15. Мікроскопічна кінетика перитектичної кристалізації;
16. Мікроскопічна кінетика екстектичної кристалізації;
17. Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних фаз;
18. Мікроскопічна кінетика кристалізації метастабільних фаз;
19. Мікроскопічна кінетика кристалізації трикомпонентної евтектики;
20. Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії.
21. Методи термічного аналізу;
22. Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії;
23. Оптимізація структури та властивостей металургійної продукції. Модифікування сплавів;
24. Мікроскопічна кінетика кристалізації сірого чавуну;
25. Мікроскопічна кінетика кристалізації половинчастого чавуну;
26. Мікроскопічна кінетика технологічних процесів виробництва ковальського чавуну.