



# Термодинаміка та кінетика металургійних процесів

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Доктор філософії (PhD)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	136 Металургія
Освітня програма	Металургія
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	II курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	6 кредитів ECTS, 26 годин лекцій, 39 годин практичних занять
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен / Модульна контрольна робота
Розклад занять	<a href="https://rozklad.kpi.ua">https://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська/Англійська
Інформація про керівника курсу / викладачів	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> Практичні заняття: д.т.н., проф. Мазур Владислав Іустинович
Розміщення курсу	Google classroom

### 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 термодинаміки та процесів структуроутворення металів та сплавів, основних принципів мікроскопічної кінетики багатофазної кристалізації, прогнозування вузької ланки процесу та оптимізації технологічних параметрів процесу кристалізації з урахуванням технічних, технологічних, економічних та екологічних факторів.. Аспіранти одержують важливий досвід з використання різних методів обробки розплаву для оптимізації структури та властивостей металургійної продукції без використання екологічно небезпечних інгредієнтів.

Предметом навчальної дисципліни є термодинамічні та кінетичні закономірності фазових рівноваг та перетворень в перебіг металургійних процесів в металах та сплавах

**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 методи фізичного, хімічного та термічного впливу з метою досягнення необхідної структури вихідного розплаву перед кристалізацією
- Знати особливості багатозначних рівноваг в гетерогенних системах та закономірності мікроскопічної кінетики процесів кристалізації, в тому числі і за участю метастабільних фаз
- Застосовувати 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 осінньому 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 заключний набір компетентностей та інтегральну компетентність. Результати вивчення дисципліни можуть бути використані у структурних дослідженнях, виконання розрахунків та оцінці результатів в дисертаційній роботі.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліна – «Термодинаміка та кінетика металургійних процесів»

Розділ 1. Термодинаміка рівноважного стану і фазових перетворень в гетерогенній системі

*Вступ. Значення термодинаміки рівноважного стану і фазових перетворень 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*

*Основні положення термодинаміки рівноважного стану. Умови фазових рівноваг в гетерогенній системі згідно з теорією термодинамічних потенціалів Дж. Гіббса. Діаграми фазових рівноваг в бінарних і потрійних системах.*

*Основні положення термодинаміки незворотних процесів. Термодинамічні стимули та рушійна сила фазового перетворення. Діаграми плавкості.*

*Розділ 2. Основні положення фізики рідкого стану*

*Атомна будова рідких металів і сплавів. Вплив технологічних факторів на атомну будову рідких металів і сплавів*

*Поняття про теорію металургійної спадковості*

*Розділ 3. Теорія росту кристалів*

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

*Розділ 4. Мікроскопічна кінетика кристалізації*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації чистих металів*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації твердих розчинів*

*Мікроскопічна кінетика евтектичної кристалізації*

*Мікроскопічна кінетика перитектичної кристалізації*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних фаз*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації метастабільних фаз*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації трифазної евтектики*

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

*Базова література*

- 1. Мазур В.І. Введение в теорию сплавов / В.І. Мазур, А.В. Мазур. Днепропетровск: Изд. Лира ЛТД.- 2009.- 264 с.*
- 2. Таран Ю.Н. Структура эвтектических сплавов / Ю.Н. Таран, В. И. Мазур. Москва: Металлургия.- 1978.-312 с.*
- 3. Mazur V. Phase equilibria and phase transformations // Textbook.- Kyiv: Polytechnica.- 2020.- 212 p.*

**Додаткова література**

- 4. Романова А.В. Структура и свойства металлических расплавов. // Металлы, электроны, решетка.- Киев: Наукова думка.- 1975.- с. 168 – 202.*
- 5. Мазур В.І. Особливості мікроскопічної кінетики перитектичного перетворення в Fe-C сплавах / В.І. Мазур, П.І. Лобода. Металознавство та обробка металів.- №2.- 2014.- с. 3 – 8.*

6. Мазур В.І. Спрямована кристалізація та 3D структура трифазної чотирикомпонентної евтектики в системі В4С-NbB2-SiC / В.І. Мазур, Ю.І. Богомол, М.І. Упатов. Нові технології та матеріали в металургії та машинобудуванні.- №1.- 2021.- с. 6-13.

7. Mazur A.V. Study of Ti-Si in situ composite processing by multi-stage eutectic solidification / A.V. Mazur, M.M. Gasik, V.I. Mazur. Zeitschrift fur metallkunde.- 95 (5).- 2004.- с. 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

### 6. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Зміст лекційних занять

Лекція 1. Термодинаміка рівноважного стану і фазових перетворень в гетерогенній системі

Вступ. Значення термодинаміки рівноважного стану і фазових перетворень 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

Основні положення термодинаміки рівноважного стану. Умови фазових рівноваг в гетерогенній системі згідно з теорією термодинамічних потенціалів Дж. Гіббса.

Лекція 2, 3. Діаграми фазових рівноваг в бінарних і потрійних системах. Складні фазові діаграми.

Лекція 4. Основні положення термодинаміки незворотних процесів. Термодинамічні стимули та рушійна сила фазового перетворення.

Лекція 5. Діаграми плавкості. Методи побудови діаграм плавкості. Термічний аналіз: простий, диференціальний, диференціальна скануюча калориметрія.

Лекція 6. Основні поняття фізики рідкого стану. Методи дослідження рідких металів і сплавів. Атомна будова рідких металів і сплавів. Кластеротворення в рідких сплавах. Вплив технологічних факторів на атомну будову рідких металів і сплавів. Поняття про теорію металургійної спадковості; [1, 2, 4].

Лекція 7. Значення теорії рідкого стану 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.

Лекція 8. Мікроскопічна кінетика кристалізації чистих металів. Мікроскопічна кінетика кристалізації твердих розчинів. Дендритна ліквіація і методи боротьби з нею; [1, 2, 3].

Лекція 9. Мікроскопічна кінетика евтектичної кристалізації; структура евтектичних сплавів. Мікроскопічна кінетика кристалізації трифазної евтектики; [1, 2, 3, 6].

Лекція 10. Мікроскопічна кінетика перитектичної кристалізації. Боротьба з перитектичними тріщинами; [1, 2, 5].

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

Лекція 12. Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії; [8].

#### Перелік тем практичних занять – 39 годин

1. Основні закономірності термодинаміки рівноважного стану (6 годин)

Аналіз і синтез діаграм фазових рівноваг в бінарних і потрійних системах (6 годин)

**\*Модульна контрольна робота на 7 тижні (2 години)**

2. Основні положення термодинаміки незворотних процесів. Діаграми плавкості та методи їх побудови (6 годин)
3. Атомна будова і методи дослідження рідких сплавів (4 години)
4. Мікроскопічна кінетика кристалізації твердих розчинів і евтектичних сплавів. Структура евтектичних сплавів. Кристалізація сірих, білих і половинчастих чавунів (10 години)
5. Мікроскопічна кінетика кристалізації перитектичних сплавів і проміжних фаз (5 години).

### **7. Самостійна робота аспіранта – 115 годин**

Самостійна робота аспіранта (загальна тривалість 115 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 напряму PhD дисертації – в розрахунку 0,5 година на 1 годину лекційного заняття = 13 годин;
- підготовці до виконання практичного мікроскопічного дослідження, аналізі одержаних результатів та формулюванні висновків = 72 години;
- підготовці до підсумкової атестації – екзамен (30 годин).

## **Політика та контроль**

### **8. 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 самостійного написання конспекту об'ємом 5-8 тис. знаків, не враховуючи рисунків та таблиць;
- Завдання пропущеної практичної роботи студент повинен виконати в час, узгоджений з викладачем. Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час практикумів 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. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Конспект за пропущену лекцію має бути виконаний і поданий на перевірку не пізніше 2-х тижнів з часу пропущеної лекції. Звіти з практичних 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>.



## 9. 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-реферату (див. п.6).
- Захист звітів з практичних робіт всього максимально 50 балів:
  - Практична робота 1 максимум 10 балів
  - Практична робота 2 максимум 12 балів
  - Практична робота 3 максимум 12 балів
  - Практична робота 4 максимум 8 балів
  - Практична робота 5 максимум 8 балів
- Модульна контрольна робота проводиться на 7-му навчальному тижні. Вона складається з 7 запитань. Максимальна оцінка 14 бали.
- Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен. Екзаменаційна оцінка (мін - мах) 30 – 50 балів. Завдання складається з 5 запитань, ціна кожного (мін - мах) 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 практичних робіт та кількості балів за видами:

- Лекційні заняття (мін - мах) 8 – 14 балів;
- Модульна контрольна робота 8 – 14 балів;
- Практичні 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 \_\_\_\_\_)

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. Умови фазових рівноваг в гетерогенній системі*
- 2. Аналіз діаграм фазових рівноваг в бінарних системах*
- 3. Аналіз складних діаграм фазових рівноваг в бінарних системах*
- 4. Синтез діаграм фазових рівноваг в бінарних системах за їх описом*
- 5. Діаграми плавкості. Методи побудови діаграм плавкості.*



**Перелік питань до екзаменаційної контрольної роботи**

1. Умови фазових рівноваг в гетерогенній системі;
2. Аналіз діаграм фазових рівноваг в бінарних системах;
3. Аналіз складних діаграм фазових рівноваг в бінарних системах;
4. Синтез діаграм фазових рівноваг в бінарних системах за їх описом;
5. Діаграми плавкості. Методи побудови діаграм плавкості;
6. Охарактеризуйте поняття «ближній порядок атомів в рідкому металі» ;
7. Які кількісні характеристики описують ближній порядок розплаву?
8. Що визначає функція радіального розподілення атомної щільності розплаву?
9. Як утворюються флуктуації атомної щільності розплаву?
10. Як утворюються атомні кластери в розплаві?
11. Як впливають різні методи фізичного впливу на структуру розплаву?
12. Поясніть поняття металургійної спадковості в металевих сплавах;
13. Основні положення термодинаміки незворотних процесів. Діаграми плавкості та методи їх побудови;
14. Мікроскопічна кінетика кристалізації твердих розчинів;
15. Мікроскопічна кінетика кристалізації евтектичних сплавів;
16. Структура евтектичних сплавів;
17. Мікроскопічна кінетика кристалізації перитектичних сплавів;
18. Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних фаз;
19. Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних фаз;
20. Мікроскопічна кінетика кристалізації метастабільних фаз;
21. Мікроскопічна кінетика кристалізації трикомпонентної евтектики;
22. Методи термічного аналізу: простий, диференціальний, диференціальна скануюча калориметрія;
23. Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії.