



# Теорія кристалізації

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство 136 Металургія</i>
Освітня програма	<i>Матеріалознавство Металургія</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)/ очна (вечірня)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, IV семестр (весняний)</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ECTS/150 год: лекції – 18 год; лабораторні – 18 год; СРС – 114 год</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. Лобода Петро Іванович Практичні заняття: д.т.н., проф. Лобода Петро Іванович</i>
Розміщення курсу	<i>Google classroom</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 фізики рідкого стану металів та сплавів, основних принципів теорії росту кристалів, 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.*

**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.

**Предметом** вивчення дисципліни є процеси кристалізації з метою оптимізації їх технологічних параметрів з урахуванням технічних, технологічних, економічних та екологічних факторів

Після засвоєння навчальної дисципліни аспірант повинен знати:

- Основні принципи термодинаміки рівноважного стану та термодинаміки незворотних процесів.
- Основні положення теорії рідкого стану металів і сплавів.
- 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 рідкого стану 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 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 освітньо-науковою програмою підготовки докторів філософії. Для успішного засвоєння дисципліни, аспірант повинен володіти компетентностей магістерського рівня

Дисципліна забезпечує розширення інженерного кругозору в галузі ливарного виробництва та інженерії матеріалів чим формує заключний набір компетенцій та інтегральну компетенцію. Результати вивчення дисципліни можуть бути використані при виконанні розрахунків та оцінці результатів в дипломній роботі.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

*Розділ 1. Теорія рідкого стану металів та сплавів*

*Вступ. 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*

*Методи дослідження рідких металів і сплавів*

*Атомна будова рідких металів і сплавів. Кластерна будова рідких металів і сплавів*

*Вплив технологічних факторів на атомну будову рідких металів і сплавів*

*Поняття про теорію металургійної спадковості*

*Розділ 2. Теорія 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.*

*Розділ 3. Мікроскопічна кінетика кристалізації*

*Мікроскопічна кінетика кристалізації чистих металів*

*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*

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

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

##### **Базова література**

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

##### **Додаткова література**

1. Романова А. В. *Структура и свойства металлических расплавов / А. В. Романова // Металлы, электроны, решетка : сб. статей.* – Киев : Наукова думка, 1975. – С. 168–202.
2. Мазур В. І. *Особенности микроскопической кинетики перитектичного перетворення в Fe-C сплавах / В. І. Мазур, П. І. Лобода // Металознавство та обробка металів.* – 2014. – №2. – С. 3–8.
3. Мазур В. І. *Локальні фазові рівноваги та мікроскопічна кінетика екстектичного перетворення в бінарних сплавах / В. І. Мазур, П. І. Лобода // Металознавство та обробка металів.* – 2014. – №3. – С. 3–9.
4. Мазур В. І. *Спрямована кристалізація та 3D структура трифазної чотирикомпонентної евтектики в системі  $V_4C-NbV_2-SiC$  / Мазур В. І., Богомол Ю. І., Упатов М. І. // Нові технології та матеріали в металургії та машинобудуванні.* – 2021. – №1.

5. Mazur A.V. Study of Ti-Si in situ composite processing by multi-stage eutectic solidification / Mazur A. V., Gasik M. M., Mazur V. I. // Zeitschrift fur metallkunde. – 2004. – Vol. 95 (5). – P. 377–380.

Зазначені бібліографічні джерела знаходяться у бібліотеці НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського та бібліотеці кафедри ВТМ та ПМ у вільному доступі. 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)

#### Зміст лекційних занять

Заняття 1. Вступ. 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. Методи дослідження рідких металів і сплавів

Заняття 2. Атомна будова рідких металів і сплавів. Кластерна будова рідких металів і сплавів[1, 2, 4].

Заняття 3. Вплив технологічних факторів на атомну будову рідких металів і сплавів. Поняття про теорію металургійної спадковості; [1, 2].

Заняття 4. 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].

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

Заняття 6. Мікроскопічна кінетика евтектичної кристалізації та перитектичної кристалізації; [1, 2, 3].

Заняття 7. Мікроскопічна кінетика екстектичної кристалізації.

Заняття 8. Мікроскопічна кінетика кристалізації проміжних, метастабільних фаз та трифазної евтектики; [1].

Заняття 9. Ускладнення мікроскопічної кінетики кристалізації сплавів в реальних умовах. Результати диференціальної скануючої калориметрії].

#### Перелік тем лабораторних занять

1. Рівноважні форми монокристалів, методи визначення орієнтації та габітусу кристалів. (2 години)
2. Дослідження впливу швидкості кристалізації на структурну досконалість кристалів. (4 годин)
3. **Модульна контрольна робота** (2 години)
4. Вплив кристалографічної орієнтації матричної фази на структурно геометричні характеристики спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів. (2 годин)
5. Дослідження впливу термодинамічних і кінетичних параметрів процесу кристалізації на хімічну та структурну досконалість кристалів. (2 години)
6. Дослідження процесу розподілу домішок між кристалічною та рідинною фазами під час росту кристалу. (4 години)
7. **Залік** (2 години)

## **6. Самостійна робота аспіранта**

Самостійна робота аспірантів (загальна тривалість 114 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 дисертації – в розрахунку 2 година на лекційне заняття – 40 годин;
- підготовці до виконання лабораторних робіт, аналізі одержаних результатів та формулюванні висновків – в розрахунку 2 години на 1 годину виконання практикуму – 64 години;
- підготовка до МКР – 4 години;
- підготовці до семестрової атестації – заліку (6 годин).

## **Політика та контроль**

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

Система вимог, які ставляться перед аспірантом:

- Відвідування усіх видів занять є обов'язковим.
- Пропущене лекційне заняття аспірант опрацьовує самостійно шляхом написання конспекту.
- Завдання пропущеної практичної роботи аспірант 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 практичних занять дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів, тощо.
- Результати практичних робіт оформлюються у вигляді звітів із 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 googledocs, 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 пропущеної лекції 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 аспіранти 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)**

#### **8.1. Види контролю**

Поточний контроль:

- Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях

- *Захист звітів з лабораторних робіт*
- *Модульна контрольна робота*

*Семестровий контроль: залік*

*Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для позитивного першого календарного контролю аспірант повинен отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт №1 і №2. Для позитивного другого календарного контролю аспірант повин отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт №3 і №4 та МКР.*

## **8.2. Критерії нарахування балів**

*Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях – максимум 2 бали за заняття, всього 36 балів.*

*Захист звітів з практичних робіт максимально складає 50 балів:*

- *Лабораторна робота 1 – максимально 10 балів.*
- *Лабораторні роботи 2 і 3 – максимально 12 балів.*
- *Лабораторні роботи 4 і 5 – максимально 8 балів.*

*Відповідно:*

- *повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);*
- *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);*
- *неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);*
- *відповідь не відповідає умовам до «задовільно».*

*Модульна контрольна робота в вигляді тесту проводиться проводиться на практичному занятті після закінчення вивчення Розділу 1. Максимальна оцінка складає 14 балів, відповідно:*

- *14 балів – повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);*
- *9 балів – 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);*
- *5 балів – 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».*

*Умовою допуску до семестрового контролю є семестровий рейтинг більше 60 балів за умови виконання усіх практичних робіт та кількості балів за видами:*

- *Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях не менше 22;*
- *Захист звітів з лабораторних робіт не менше 30 балів;*
- *Модульна контрольна робота не менше 8.*

*У випадку незгоди з семестровим рейтингом, здобувач має право здавати залікову контрольну роботу, проте при цьому його семестровий рейтинг анулюється.*

*Залікова контрольна робота проводиться у вигляді усного опитування і завдання включає 1-е теоретичне питання з лекцій розділу 1 та 1-е теоретичне питання з лекцій розділу 2, на підготовку відповідей виділяється 1 академічна година. Відповідь на кожне з питання оцінюється у 50 балів за 100-бальною шкалою, 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 – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 10-5 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів.

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

#### 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Додаткову інформацію для опанування навчальної дисципліни можна знайти на сайті розробника програмного забезпечення:  
<https://www.grantadesign.com/education/students/video-tutorials/>,  
<https://www.grantadesign.com/education/support/ces-edupack-support/>.
- 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 перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перезарахування (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:** професор кафедри Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д. т. н., професор Мазур Владислав Іустинович.

**Ухвалено** кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 9 від 14 лютого 2025 р.)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 6/25 від 19 лютого 2025 р.)