



ФАЗОВІ РІВНОВАГИ ТА ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ. ЧАСТИНА 1

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Освітньо-наукова програма Матеріалознавство</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>Частина 1. 1 курс, осінній семестр Частина 2. 1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>Частина 1. 4,5 кредити/ 135 год, 36годин лекцій, 18 год практичних занять, самостійна робота студента – 81 год Частина 2. 5 кредитів/ 150 год, 36годин лекцій, 18 год практичних занять, самостійна робота студента – 96 год</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Частина 1. екзамен / МКР Частина 2. екзамен / МКР</i>
Розклад занять	<i>https://roz.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Частина 1: Лектор: д.т.н. проф. Мазур Владислав Іустинович Практичні заняття: д.т.н. проф. Мазур Владислав Іустинович Частина 2: Лекції: д.ф-м.н., проф. Карпець Мирослав Васильович Практичні заняття: д.ф-м.н., проф. Карпець Мирослав Васильович</i>
Розміщення курсу	<i>Google classroom</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Описнавчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Вивчаючи дисципліну, студенти узагальнюють власні знання з різних дисциплін та долучаються до світового досвіду теорії та практичного використання теорії фазових рівноваг та фазових перетворень з урахуванням технічних, технологічних, економічних та екологічних факторів. Студенти одержують важливий досвід з використання традиційних і нових методів дослідження фазових рівноваг та фазових перетворень провідними технічними університетами. Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- виявляти та ставити проблеми в сфері матеріалознавства, приймати ефективні рішення для їх вирішення;
- до критичного аналізу та прогнозування характеристик нових та існуючих матеріалів, параметрів процесів їх отримання і обробки та використання у виробі (або у виробничих умовах);
- розуміти та використовувати математичні та числові методи моделювання властивостей, явищ та процесів;

- розробляти і вдосконалювати методи і методики матеріалознавчих досліджень
- використовувати закони термодинаміки та кінетики фазових і хімічних перетворень, масопереносу для розробки технологічних процесів виробництва матеріалів.

а також розвиток загальних компетентностей, які полягають у:

- здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатності застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Після засвоєння навчальної дисципліни студент набуває таких програмних результатів навчання:

- розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті існуючих теорій;
- виявляти, формулювати і вирішувати матеріалознавчі проблеми і задачі;
- вільно спілкуватись державною та англійською мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері матеріалознавства та ширшого кола інженерних питань, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів;
- застосовувати сучасні інформаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач матеріалознавства;
- приймати ефективні рішення в нових ситуаціях або непередбачуваних умовах з урахуванням їх можливих наслідків, оцінювати і порівнювати альтернативи, оцінювати технічні, економічні, екологічні та правові ризики;
- наукові навички у галузі інженерії для того, щоб успішно проводити наукові дослідження як під керівництвом так і самостійно;
- використовувати сучасні методи для виявлення, постановки та розв'язування винахідницьких задач в галузі матеріалознавства;
- формулювати та розв'язувати науково-технічні задачі для розробки, виготовлення, випробування, сертифікації, утилізації матеріалів, створення та застосування ефективних технологій виготовлення виробів;
- планувати і виконувати експериментальні матеріалознавчі дослідження, обирати відповідні обладнання та методики, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки;
- проектувати нові матеріали, розробляти, досліджувати та використовувати фізичні та математичні моделі матеріалів та процесів;
- розв'язувати прикладні задачі виготовлення, обробки, експлуатації та утилізації матеріалів та виробів;
- розробляти комплексний дизайн нових матеріалів і виробів на їх основі з урахуванням експлуатаційних властивостей та умов використання
- розробляти і застосовувати новітні методи і методики досліджень матеріалів та процесів в галузі матеріалознавства з урахуванням особливості проблем, що вирішуються
- застосовувати сучасні математичні методи, цифрові технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач і проблем матеріалознавства
- уміти застосовувати термодинамічний аналіз діаграм стану для прогнозування фазових рівноваг та перетворень
- уміти користуватись спеціальним програмним забезпеченням для термодинамічних розрахунків.
-

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

Дисципліна викладається в третьому семестрі підготовки за освітньою (освітньо-науковою) програмою підготовки магістрів. Для успішного засвоєння дисципліни, студент повинен володіти набором компетентностей бакалаврського рівня, зокрема:

- Здатність застосовувати знання в практичних ситуаціях;
- Здатність приймати обґрунтовані рішення;
- Здатність використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- Прагнення до збереження навколишнього середовища;
- Володіння англійською мовою на рівні не нижче B1;
- Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань;
- Здатність ефективно використовувати технічну літературу та інші джерела інформації і галузі матеріалознавства;
- Здатність враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні міркування, що впливають на реалізацію технічних рішень;

Дисципліна забезпечує розширення інженерного кругозору в галузі матеріалознавства та інженерії матеріалів чим формує заключний набір компетенцій та інтегральну компетенцію. Результати вивчення дисципліни можуть бути використані у виконанні досліджень в науково-дослідній роботі студентів, магістерській дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна – «Фазові рівноваги та фазові перетворення. Частина 1» містить два змістовних модуля: «Фазові рівноваги» та «Фазові перетворення»

Розділ 1. Фазові рівноваги

Тема 1. Основні поняття термодинаміки рівноважного стану.

Інтенсивні та екстенсивні параметри стану системи. Термодинамічний потенціал системи. Хімічний потенціал. Умови термодинамічної рівноваги в гетерогенній системі.

Тема 2. Основні поняття термодинаміки незворотних процесів.

Феноменологічні закони переносу. Градієнт інтенсивного параметру стану як умова та рушійна сила процесу фазового перетворення.

Тема 3. Побудова та аналіз діаграм фазових рівноваг методом термодинамічного потенціалу.

Комп'ютерні методи розрахунку термодинамічного потенціалу та побудова діаграм фазових рівноваг гетерогенної системи. Аналіз складних діаграм.

Тема 4. Побудова діаграм плавкості методом термічного аналізу: TA, DTA, DSC.

Співвідношення діаграм плавкості та діаграм фазових рівноваг.

Тема 5. Гартувально-мікроскопічний метод досліджень фазових перетворень.

Використання мікроструктур загартованих сплавів і термічних ефектів від фазових перетворень для уточнення діаграм плавкості.

Модульна контрольна робота. Діаграми фазових рівноваг і діаграми плавкості

Розділ 2. Фазові перетворення в гетерогенних системах

Тема 6. Фазові перетворення з дифузійною кінетикою.

Мікроскопічна кінетика кристалізації та плавлення бінарних сплавів. Кінетика дифузійних поліморфних перетворень. Кінетика утворення та розпаду метастабільних фаз. Кінетика старіння сплавів. Фазова перекристалізація при спіканні.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Мазур В. І. Конспект лекцій з дисципліни «Фазові рівноваги та фазові перетворення».
2. Мазур В. І. Електронна презентація «Фазові рівноваги та фазові перетворення».
3. Mazur V. Phase equilibria and phase transformations / V. Mazur. – Kyiv : Pub. house “Polytechnica”, 2020. – 212 p.

Додаткова література

4. Мазур В. І. Введение в теорию сплавов / В. И. Мазур, А. В. Мазур. – Днепропетровск : Лира ЛТД, 2009.–264 с.
5. Базаров И.П. Термодинамика / И. П. Базаров. – 2-е изд., перераб. – Москва: Высшая школа, 1976. – 447 с.

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

5. Засоби діагностики успішності навчання

Питання з модульної (Додаток А) та з екзаменаційної (Додаток В) контрольних робіт з теоретичними та практичними завданнями.

Навчальний контент

6. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Зміст лекційних занять

Тема 1. Основні поняття термодинаміки рівноважного стану.

Лекція 1. Система. Термодинамічна система. Компонент. Фаза. Інтенсивні та екстенсивні параметри стану системи. Ступінь свободи.

Література: [1] с.3 -34, [2] с. 7-44. Електронна презентація [4].

Лекція 2. Термодинамічний потенціал системи. Хімічний потенціал. Умови термодинамічної рівноваги в гетерогенній системі. Правило фаз Гіббса. Фазовий простір Гіббса.

Література: [1] с.11-34, [2] с. 11-44. Електронна презентація [4].

Тема 2. Основні поняття термодинаміки незворотних процесів.

Лекція 3. Феноменологічні закони переносу. Градієнт інтенсивного параметру стану як умова та рушійна сила процесу фазового перетворення. Поняття про мікроскопічну кінетику фазового перетворення.

Література: [1] с.96-100, [2] с. 121-126, [5], Електронна презентація [4].

Тема 3. Діаграми фазових рівноваг.

Лекція 4. Побудова та аналіз діаграм фазових рівноваг методом термодинамічних потенціалів. Комп'ютерні методи розрахунку термодинамічного потенціалу та побудови діаграм фазових рівноваг гетерогенної системи.

Література: [1] с.29-33, [2] с. 38-43,[4]. Електронна презентація [4].

Лекція 5, 6, 7, 8, 9. Аналіз основних типів бінарних діаграм фазових рівноваг: з необмеженою розчинністю атомів компонентів в рідкій та твердих фазах, з евтектичною рівновагою, з перитектичною рівновагою, з екстектичною рівновагою, з монотектичною рівновагою, з синтектичною рівновагою, з евтектоїдною та перитектоїдною рівновагою. Діаграми з

метастабільною рівновагою фоз.

Література: [1] с.36-93, [2] с. 46-111, [5]; Електронна презентація [4].

Модульна контрольна робота

Лекція 10. Аналіз та синтез складних діаграм фазових рівноваг.

Література: Електронна презентація [2], с. 114-120, [4].

Тема 4. Діаграми плавкості.

Лекція 11. Побудова діаграм плавкості методами термічного аналізу: ТА, DTA, DSC. Переваги та недоліки методів. Співвідношення діаграм плавкості та діаграм фазових рівноваг.

Література: [1] с.17-27, [2] с. 21-35, [5], Електронна презентація [4].

Тема 5. Гартувально-мікроскопічний метод досліджень фазових перетворень.

Література: [1] с.27-29, [2] с. 36-38. Електронна презентація [4].

Лекція 12. Використання мікроструктур загартованих сплавів і термічних ефектів від фазових перетворень для уточнення діаграм плавкості.

Література: [1] с.27-29, [2] с. 36-38. Електронна презентація [4].

Розділ 2. Фазові перетворення в гетерогенних системах

Тема 6. Фазові перетворення з дифузійною кінетикою.

Лекція 13. Мікроскопічна кінетика кристалізації та плавлення бінарних твердих розчинів. Дендритна ліквіація.

Література: [1] с. 100-107, [2] с. 126-132. Електронна презентація [46].

Лекція 14. Мікроскопічна кінетика кристалізації та плавлення бінарних евтектичних сплавів. Макро- та мікроморфологія бінарних евтектичних сплавів. Структурні складові евтектичної колонії. Явище контактного плавлення. Методи керування процесом структуроутворення.

Література: [1] с.107-145, [2] с. 132-140. Електронна презентація [4].

Лекція 15. Мікроскопічна кінетика кристалізації та плавлення бінарних перитектичних сплавів. Макро- та мікроморфологія бінарних перитектичних сплавів. Явище локального контактного плавлення при перитектичній кристалізації.

Література: [1] с.146-154, [2] с. 149-160. Електронна презентація [4].

Лекція 16. Мікроскопічна кінетика кристалізації та плавлення бінарних екстектичних сплавів. Макро- та мікроморфологія бінарних екстектичних сплавів..

Література: [1] с.154-162, [2] с. 74-78. Електронна презентація [4].

Лекція 17. Мікроскопічна кінетика дифузійних поліморфних перетворень евтектоїдного та перитектоїдного типу. Кінетика утворення та розпаду метастабільних фаз. Кінетика старіння сплавів.

Література: [1] с.186-200, [2] с. 188-202. Електронна презентація [4].

Лекція 18. Фазова перекристалізація при спіканні порошкових сплавів

Література: Електронна презентація [4].

Перелік тем практичних робіт

1. Побудова та аналіз фазової діаграми з евтектичною рівновагою.(2 год)
2. Побудова та аналіз фазової діаграми з монотектичною рівновагою.(4год)
3. Аналіз складної фазової діаграми.(4 год)
4. Мікроскопічна кінетика евтектичного перетворення.(4 год)
5. Методи термічного аналізу: простий, диференціальний, диференціальна скануюча калориметрія.(4 год)

2. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 81годин) з дисципліни полягає в

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для фокусування розглянутих методів електронно-мікроскопічного аналізу на власні наукові дослідження, що відповідають напрямку магістерської роботи – в розрахунку 1 година на лекційне заняття, тобто 36годин;
- підготовці до виконання практичних робіт, аналізу одержаних результатів та формулюванні висновків – 10 годин;
- підготовці до тематичних контрольних робіт – 5 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.
 - Завдання пропущеної практичної роботи студент повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.
- Під час усіх видів аудиторних занять дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час практичних робіт дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів, тощо.
- Результати виконаних практичних 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 googledocs, після чого надається доступ для редагування для викладача. За 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 5 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>.

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

PCO з дисципліни, семестровий контроль з якої передбачений як екзамен складається з двох складових із співвідношенням 50 :50:

- стартової – призначена для оцінювання заходів поточного контролю впродовж семестру;
- екзаменаційної – призначена для оцінювання запитань (завдань) на екзамені.

Стартові складова формується як сума балів поточного контролю, до якого входять:

- Експрес-опитування або тестування на лекційних заняттях – максимум 2 бали. Бали за опитування на пропущених лекціях компенсуються виконанням конспекту (див. п.б).
- Захист результатів завдань з практичних робіт всього максимально складає 22 бали:
 - Практична робота 1 максимум 4 балів
 - Практична робота 2 максимум 5 балів
 - Практична робота 3 максимум 5 балів
 - Практична робота 4 максимум 4 балів
 - Практична робота 5 максимум 4 балів
- Модульна контрольна робота проводиться на 7-му навчальному тижні. Вона складається з 7 запитань. Максимальна оцінка 14 балів.
- Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу. Для отримання позитивної оцінки на першому календарному контролі здобувачі повинні отримати 50 % від максимальної оцінки за виконання і захист практичної роботи 1 та 50 % максимальної оцінки за МКР.
Для отримання позитивної оцінки на другому календарному контролі здобувачі повинні отримати 50 % від максимальної оцінки за виконання і захист практичних робіт 2-4.

Семестровий контроль: екзамен. До екзамену допускаються здобувачі, які отримали 30-50 стартових балів, а саме:

- Лекційні заняття (мін - максимум) 8–14 балів;
- Модульна контрольна робота 8 – 14 балів;
- Практичні роботи 14 – 22 бала.

Екзаменаційна оцінка (мін - максимум) 30–50 балів. Завдання складається з 5 запитань, кожне з яких оцінюється (мін - максимум) 6–10 балів.

Після оцінювання відповідей на екзамені (виконання екзаменаційної контрольної роботи) підсумовуються стартові бали та бали за екзамен, зводяться до рейтингової оцінки та переводяться у оціни за університетською шкалою (таблиця).

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)

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

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 перерахований 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".

Програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 16 від 21 червня 2023 р.)

Погоджено Методичною комісією ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 12/23 від 28 червня 2023 р.)

Додаток А

Перелік запитань до Модульної контрольної роботи

1. Дайте пояснення поняттям «компонент», «фаза», «система»
2. Дайте пояснення поняттю «термодинамічна система»
3. Дайте пояснення поняттю «термодинамічний потенціал системи»
4. Дайте пояснення поняттю «хімічний потенціал атома компоненту»
5. Умови фазових рівноваг в гетерогенній системі
7. Проведіть аналіз складної діаграми фазових рівноваг в бінарній системі (надається діаграма) [2],[4, с. 112-120]
8. Проведіть синтез діаграми фазових рівноваг в бінарній системі за її описом (надається опис)
9. Діаграми плавкості. Методи побудови діаграм плавкості. Співвідношення діаграм плавкості та діаграм фазових рівноваг

Додаток В

Перелік питань до екзаменаційної 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 впливає перегрів розплаву на стабільність кластерів?
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: кооперативна та конгломератна структура; евтектична комірка, евтектична колонія; секторіальна структура евтектичної колонії, вплив лінійної швидкості кристалізації на параметр λ евтектичної структури;
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.