



ПОВЕРХНЕВІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ
Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	<i>131-- прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Вибірковий</i>
Форма навчання	<i>заочна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 год./4 кредити ЄКТС, 10 год. – лекції, 4 год.- практичні заняття, 106 год.- СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР, РГР.</i>
Розклад занять	<i>згідно rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н, професор Копилов Вячеслав Іванович, kopviacheslav@gmail.com ; Практичні - д.т.н, професор Копилов Вячеслав Іванович, kopviacheslav@gmail.com ;
Розміщення курсу	Студенти отримують лекції у вигляді конференції з використанням платформи - ZOOM

Програма навчальної дисципліни

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

В результаті навчання студент набуває знання щодо засвоєння основних положень і уявлень про поверхневі фізико-хімічні процеси, що обумовлені наявністю поверхневої енергії, складом, структурою поверхневих шарів; засвоєння знань щодо змочування, розтікання, адгезії, когезії, тертя, фізичної та хімічної адсорбції; отримання навичок щодо методів визначення основних параметрів, що супроводжують поверхневі фізико-хімічні процеси і відповідають за адгезійну чи адгезійно-когезійну міцність з'єднання

Метою дисципліни є формування у студентів уявлень і знань щодо сукупності явищ, що мають місце безпосередньо при напиленні, наплавленні, зварюванні і пов'язані з особистими властивостями поверхневих шарів контактуючих тіл і речовин, поверхневими фізико-хімічними процесами, які протікають у міжфазній зоні і суттєво впливають на якість з'єднання в умовах цих процесів, а в подальшому на функціональні властивості композиційних матеріалів

Вивчення освітнього компонента передбачає підсилення та розвиток у студентів компетентностей, передбачених освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Компетентності:

1. Здатність проводити технологічну і техніко-економічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів (ФК3)
2. Здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення про правила їх експлуатації (ФК4)
3. Здатність використовувати знання в галузі фізико-хімічних, термодформаційних та металургійних процесів для обґрунтованого призначення способів і технологічних параметрів зварювання і споріднених процесів (ФК14)
4. Здатність використовувати знання в галузі фундаментальних наук для вирішення технічних задач зі зварювання та споріднених технологій (ФК15)

Програмні результати навчання:

1. Уміти провести аналіз основних характеристик поверхневих явищ таких, як поверхнева енергія, поверхневий натяг, змочування, адсорбція, адгезія в умовах контактування різних матеріалів, в тому числі при напиленні, наплавці, зварюванні;
2. Уміти оцінити повноту протікання реакції на поверхні твердого тіла в умовах конкретного технологічного процесу з метою визначення його основних показників продуктивності і оптимізації;
3. Уміти прогнозувати ймовірність протікання конкретних фізико-хімічних процесів у з'єднанні при зварюванні, наплавці, напиленні;
 - 4. Здатність навчитися оцінювати такі основні параметри, як адгезійно - когезійну міцність, силу зчеплення, термо-напружений стан поверхневих шарів системи, що відповідають за підвищення міцності чи руйнування композицій;
 - 5. Здатність використати одержані відомості і знання для рекомендацій щодо управління параметрами, відповідними за поверхневі фізико-хімічні процеси при взаємодії контактуючих тіл та речовин, і розрахувати чи призначити значення параметрів режимів для зварювання чи спорідненого процесу.
6. Уміти на основі знань щодо створення поверхонь і фізико-хімічних процесів в поверхневих шарах призначити матеріали для напилення, наплавлення чи зварювання –

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

Перелік попередніх навчальних курсів, які необхідні фахівцю для успішного засвоєння дисципліни:

Загальна фізика; Матеріалознавство; Газотермічна обробка матеріалів.

Знання, отримані під час вивчення даної дисципліни можуть бути використані при виконанні дипломних проєктів за напрямом фізико-хімічні процеси на поверхні твердих тіл при газотермічному нанесенні покриттів.

Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1.

ПОВЕРХНЕВІ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ЯВИЩА НА МЕЖІ ФАЗ.

Основи теорії фізичної адсорбції та хемосорбції.

Тема 1.1. Основні поняття про поверхневі фізико-хімічні процеси при контактуванні твердого тіла із зовнішнім середовищем.

Тема 1.2. Термодинаміка поверхневих явищ.

Тема 1.3. Явища адсорбції, змочування і розтікання.

Тема 1.4. Дифузійні явища в об'ємі та на поверхні твердих тіл.

Розділ 2.

ФІЗИКА МІЦНОСТІ І ПЛАСТИЧНОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ.

Тема 2.1. Особливості і закономірності мікропластичної деформації в поверхневих шарах матеріалів.

Тема 2.2. Загальна характеристика впливу середовищ на властивості матеріалів.

Розділ 3.

ВПЛИВ ПЛІВОК І ПОКРИТТІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ТА КОМПОЗИЦІЙ.

Тема 3.1. Методи нанесення покриттів.

Тема 3.2. Вплив плівок і покриттів на властивості твердих тіл

Розділ 4.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ НА ПОВЕРХНІ ТВЕРДИХ ТІЛ ПРИ ГАЗОТЕРМІЧНОМУ НАНЕСЕННІ ПОКРИТТІВ (ГТН).

Тема 4.1. Поверхневі фізико-хімічні процеси при газотермічному напыленні покриттів.

МКР

Тема 4.2. Активація процесів газотермічного напылення.

3. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Копилов В.І., Смирнов І.В. Поверхневі фізико-хімічні процеси. Навч. Пос.- К.: Вид. «КПІ», 2012.- 230 с.

2. Поверхневі фізико-хімічні процеси. Курс дистанційного навчання / Сертифікат ЦДО, 20.06.2013, №10

3. Нанесення покриття: Навч. посібник / В.М., Корж, В.Д. Кузнецов, Ю.С. Борисов, К.А.Ющенко, за ред. К.А. Ющенко. – К.: Арістей, 2005. – 204 с.

4. Поверхневі фізико-хімічні процеси: Метод. вказівки до практ. занять для студ. напряму «Зварювання» / Уклад.: В.І. Копилов, І.В. Смирнов. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2005. – 56 с.

Додаткова

1. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. Підручник. – Львів: Афіша, 2002. – 304 с.

Навчальний контент

4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття – 10 год.

Лекція 1. Поверхневі фізико-хімічні процеси на межі фаз

Основні поняття про поверхневі фізико-хімічні процеси при контактуванні твердого тіла із зовнішнім середовищем. Поняття і визначення поверхні твердого тіла. Фізична та хімічна неоднорідність поверхні. Склад і будова поверхні. Поверхнева енергія і поверхневий натяг. Поверхневий шар, згущення поверхневої енергії. Термодинаміка поверхневих явищ. Характеристичні функції і термодинамічні потенціали. Оцінка можливості і спрямованості протікання процесів. Розрахунок стандартної зміни енергії Гіббса.

Лекція 2. Явища адсорбції, змочування і розтікання.

Адсорбовані атоми на поверхні. Рівняння Гіббса для адсорбції. Фізична адсорбція. Хімічна адсорбція (хемосорбція). Перехід від фізичної адсорбції до хімічної. Змочування і розтікання. Рівняння Юнга. Рівноважний крайовий кут. Адгезія і когезія. Робота адгезії. Дифузійні явища в об'ємі та на поверхні твердих тіл. Закони дифузії Фіка. Коефіцієнт дифузії та енергія активації дифузії. Дифузія по поверхні кристалічних тіл. Механізми припікання твердих тіл, що контактують у точці.

Лекція 3. Особливості і закономірності мікропластичної деформації в поверхневих шарах матеріалів.

Елементи механіки деформованого твердого тіла. Теоретична міцність твердих тіл при відриві та зсуві. Дефекти твердих тіл. Загальні відомості о теорії дислокацій, переміщення і розмноження дислокацій. Вплив зовнішньої поверхні на процес пластичної деформації. Аномалії пластичної течії поверхневих шарів. Особливості переміщення дефектів поблизу вільної поверхні тіла.

Загальна характеристика впливу середовищ на властивості матеріалів. Зниження поверхневої енергії і зміна механічних властивостей твердих тіл під впливом оточуючого середовища.

Лекція 4. Вплив плівок і покриттів на фізико-механічні властивості поверхневих шарів та композицій

Методи нанесення покриттів. Характеристика методів нанесення плівок і покриттів та класифікація за станом матеріалу, що осаджується на поверхню. Осадження в рідкій фазі. Осадження у твердій і твердій фазах. Осадження з парової фази. Стадії процесів вакуумного конденсаційного нанесення покриттів (PVD метод). Хімічне осадження із парової фази (CVD метод). Вплив плівок і покриттів на властивості твердих тіл. Незміцнюючі і зміцнюючі ефекти. (Ефекти Крамера, Роско, Іоффе, Ребіндера). Адгезійна взаємодія плівок. Адгезія й адгезійна міцність плівок. Особливості кількісної оцінки адгезійної міцності плівок. Теоретичні критерії адгезії покриттів і контактної активності металів.

Лекція 5. Поверхневі фізико-хімічні процеси при газотермічному напиленні покриттів.

Стадійність фізико-хімічних процесів при формуванні газотермічних покриттів. Утворення фізичного контакту при плазмовому напиленні (ГТН). Перший етап взаємодії при напиленні. Термічний режим у зоні контакту при плазмовому напиленні. Активація процесів газотермічного напилення. Роль поверхневої енергії, вакансій і дислокацій у підвищенні температури при плазмовому напиленні. Другий етап при плазмовому напиленні (ГТН) – хімічна взаємодія. Механізми активації процесу газотермічного напилення. Об'ємна взаємодія (третій етап).

МКР.

Практичні заняття – 4 год.

1. Маючи данні щодо поверхневого натягу і крайового кута змочування, визначити роботу адгезії рідкої фази з поверхнею твердого тіла в умовах відповідного технологічного процесу утворення з'єднання – 2 год.

Мета заняття: засвоєння та реалізація знань щодо основних положень і уявлень про адгезійні і когезійні властивості рідини при змочуванні поверхні твердого тіла.

2. Визначити стандартну зміну енергії Гіббса при певній температурі з використанням першого, другого і третього наближення – 2 год..

Мета заняття: засвоєння основних методів розрахунку ізобарно-ізотермічного потенціала реакції в системі рідина - тверде тіло, або в системі двох твердих тіл.

5. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота спрямована на засвоєння лекційного матеріалу, рекомендованої літератури, підготовки до експрес-контролю на лекціях, до модульної контрольної роботи та заліку.

Види самостійної роботи (106 год.):

5. 1. Опрацювання тем, винесених на самостійне вивчення – всього **67 год.**

5.2. Підготовка до практичних занять, обробка і оформлення даних, отриманих при виконанні практичних занять – 2 година на кожне практичне заняття (всього – **4 год.**).

5.2. Підготовка до лекційних занять – 2 години на кожну лекцію (всього – **10 год.**)

5.3. Підготовка до МКР – **4 год.**

5.5. Виконання розрахунково-графічної роботи – **15 год.**

5.6. Підготовка до заліку – **6 год.**

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Вивчення кредитного модуля відбувається згідно графіку навчального процесу з обов'язковим відвідуванням всіх видів занять. є можливість опановувати кредитний модуль у змішаному режимі: ознайомлюватись з теоретичним матеріалом лекцій – самостійно, з можливістю проведення консультацій викладачем.

Правила поведінки на заняттях.

Правила поведінки на заняттях регламентуються етичними нормами: всі учасники освітнього процесу в університеті повинні дотримуватись вимог чинного законодавства України, Статуту і

Правил внутрішнього розпорядку НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», загальноприйнятих моральних принципів, підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності й толерантності, дбайливо ставитися до університетського майна.

Під час аудиторних занять студенти повинні дотримуватись діючих правил охорони праці, безпеки життєдіяльності і правил пожежної безпеки, а в разі навчання за дистанційною формою виконувати вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я під час роботи з екранними пристроями.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Студенти зобов'язані дотримуватися термінів виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.

Порушення термінів виконання певного виду робіт враховується згідно рейтингової системи оцінювання.

Політика щодо академічної доброчесності докладно описана у Кодексі Честі КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/code>) і передбачає повну відповідальність студента за те, що всі виконані ним завдання відповідають принципам академічної доброчесності.

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

Поточний контроль.

На лекціях студент виконує письмову самостійну роботу у вигляді експрес тестів - надає відповіді на контрольні питання.

Календарний контроль.

Календарний контроль не проводиться.

Семестровий контроль.

В якості контролю знань, опанованих студентами за семестр викладання освітнього компоненту, навчальним планом передбачено складання **екзамену**.

Умови позитивного календарного контролю.

Для отримання «зараховано» з першого календарного контролю (8 тиждень) студент повинен набрати не менше ніж 20 балів (лекцій- 8 балів, практичні заняття – 8 балів, МКР – 4 бали).

Зараховано 10 балів (50%).

Для отримання «зараховано» з другого календарного контролю (14 тиждень) студент повинен набрати не менше ніж 53 бали (лекцій- 21 балів, практичні заняття 14 балів, РГР – 16 балів).

Зараховано 27 балів (50%).

Рейтингова система оцінювання та критерії нарахування вагових балів:

Система нарахування рейтингових (вагових) балів і критерії оцінювання.

1. Експрес-контроль на лекції.

Ваговий бал –1. Максимальна кількість балів, які можна одержати за позитивні результати експрес-контролю на лекціях (26 питань): $2 \times 26 = 52$ **бали**.

На одній з лекцій виконується МКР.

2. Робота на практичних заняттях.

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів, які можна одержати за позитивні результати на практичних заняттях (9 завдань): $2 \times 9 = 18$ **балів**.

3. Модульна контрольна робота.

Максимальна кількість балів складає: $14 \text{ бали} \times 1 = 14$ **балів**.

4. Розрахунково - графічна робота – 16 балів.

Штрафні та заохочувальні бали:

– За несвоєчасне виконання певного виду робіт знімається 20% від максимального балу. В умовах воєнного стану штрафні бали не нараховуються.

– Заохочувальні бали нараховуються за розв'язок студентом індивідуальних завдань (за бажанням студента/аспіранта) з дисципліни «+1...5 балів».

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_C = \sum r_k = 52 + 18 + 14 + 16 = 100 \text{ балів}$$

Таким чином, рейтингова шкала з кредитного модуля складає $R = 100$ балів

Залікова семестрова контрольна робота пропонується у разі набору студентом недостатньої для семестрової атестації кількості балів (від 40 до 59 балів) або при незгоді студентом з кількістю балів набраних протягом семестру.

Величина шкали залікової контрольної роботи $R_2 = 100$ 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

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Приклад білета на залік

Білет N

1. Поняття фізичної і хімічної неоднорідності поверхні твердого тіла.
2. Загальна класифікація методів нанесення покриттів; поняття процесів осадження плівок і покриттів.
3. Додаткове тестове запитання

Приклад завдання на МКР

Завдання №1

Визначити особливості поверхні твердого тіла:

- загальна характеристика поверхневих явищ, характеристика поверхні;
- фізична і хімічна неоднорідність;
- основні типи дефектів твердих тіл (в тому числі поверхневих);
- склад і будова поверхні.

Завдання №2

Проаналізувати причини перекручування у поверхневих шарах:

- поверхневий шар, нерівноважність поверхневих шарів;
- визначення поверхневої енергії і поверхневого натягу, розмірність;
- основна відмінність поверхневих шарів від об'ємних
- внутрішня і поверхнева енергія; зміщені і перебудовані поверхні;
- згущення поверхневої енергії;

Завдання №6

Дати оцінку явищам фізичної і хімічної адсорбції:

- суть фізичної адсорбції;
- хімічна адсорбція (хемосорбція);
- енергія активації адсорбції;
- перехід від фізичної адсорбції до хімічної.

Приклад завдання на РГР

1. Оцінити зміну загальної енергії при переході тіла відповідного матеріалу одного і того ж об'єму із однієї форми в іншу. Довести, чи енергія поглинається чи виділяється при цьому.

(Матеріал і розміри тіл приведені в таблиці 2.1, додатку 2);

2. Побудувати графік залежності зміни енергії границі між двома зернами від двогранного кута між ними в діапазоні $120 - 160^\circ$ для різних металів, використовуючи дані щодо поверхневого натягу (таблиця 1.3, додаток 1);

3. Визначити міжфазну енергію при розтіканні рідкої фази по поверхні твердого тіла, використовуючи табл. 1.4, додатку 1;

4. Визначити роботу адгезії на межі фаз, використовуючи дані таблиці 1.5, додатку 1;

5. Визначити ізобарно - ізотермічний потенціал реакції процесу для оцінки імовірності його протікання та реалізації. Розрахунки провести в межах першого, другого та третього наближень;

6. Визначити коефіцієнт дифузії матеріалу при даній температурі. Використовувати дані таблиці 2.1, додатку 2.

Перелік питань для підготовки до заліку

1. Основні поняття і особливості стану поверхні твердого тіла, суть поверхневих перекручувань.

2. Поняття фізичної і хімічної неоднорідності поверхні твердого тіла.

3. Порівняльна характеристика поверхневої енергії і поверхневого натягу, їхня розмірність.

4. Поверхневий шар твердого тіла, згущення поверхневої енергії.

5. Поняття поверхневої та повної енергії кристалічних тіл.

6. Основні поняття з термодинаміки, термодинамічні параметри, функції стану.

7. Основні термодинамічні рівняння для опису енергії поверхневих шарів.

8. Характеристичні функції, термодинамічні потенціали, оцінка спрямованості протікання реакції.

9. Загальна характеристика методів розрахунку вільної енергії Гіббса.

10. Охарактеризувати поняття адсорбції. Основне рівняння адсорбції.

11. Фізична і хімічна адсорбція. Відміна між ними.

12. Хімічна адсорбція, перехід від фізичної до хімічної адсорбції.

13. Змочування і розтікання рідини на поверхні твердих тіл.

14. Умова рівноваги при контакті рідини з твердим тілом. Міра змочувальної здатності рідини.

15. Розтікання, рівняння Юнга.

16. Адгезія, робота адгезії рідини.

17. Порівняльний аналіз явищ адгезії і когезії.

18. Енергія границь зерен кристала.

19. Обґрунтувати умови можливості протікання процесу кристалізації.

20. Поняття зародкоутворення. Критичний розмір зародку.

21. Закони дифузії Фіка.

22. Поверхнева дифузія, самодифузія, гетеродифузія.

23. Основні параметри, що характеризують дифузію.

24. Коефіцієнт дифузії, фактори, що впливають на коефіцієнт дифузії.

25. Механізми спікання твердих тіл, що контактують у точці.

26. Поверхнева дифузія при спіканні твердих тіл, приповерхневий шар.

27. Основні поняття фізики міцності та пластичності поверхневих шарів твердих тіл.

Теоретична та реальна міцність твердих тіл.

28. Типи дефектів твердих тіл. Поверхневі дефекти.

29. Дислокації, їх види, взаємодія і переміщення дислокацій.

30. Вплив поверхні на процес пластичної деформації твердих тіл.

31. Дати оцінку поведінки поверхневих шарів при пластичній деформації. Особливості переміщення дефектів поблизу вільних поверхонь; градієнт щільності та швидкості дислокацій поблизу поверхні тіла.

32. Стадії мікропластичної деформації в приповерхневих шарах кристалів.

33. Бар'єрний ефект поверхневих шарів при деформуванні матеріалів.

34. Загальна характеристика середовищ, групи середовищ.

35. Елементарні процеси взаємодії металів з газами.

36. Адсорбційний ефект Ребіндера (зміна механічних властивостей тіл під дією адсорбційно-активних середовищ).

37. Загальна класифікація методів нанесення покриттів; поняття процесів осадження плівок і покриттів.

38. Класифікація методів нанесення покриттів за станом матеріалу, що наноситься на поверхню твердого тіла..

39. Фізичне і хімічне осадження із парової фази, стадії процесу осадження плівок і покриттів.

40. Характеристика процесів випаровування та розпилення металів.

41. Осадження із твердої фази.

42. Вплив плівок на фізико-механічні властивості матеріалів (ефекти Роско, Крамера і інш.).

43. Адгезія і когезія плівок і покриттів. Робота адгезії.

44. Визначити основні процеси, що супроводжують відрив плівок. Складові, від яких залежить адгезійна міцність та сила зчеплення плівок до твердих тіл.

45. Теоретичні критерії адгезії та контактної активності плівок і покриттів.

46. Класифікація методів нанесення газотермічних покриттів. Загальна характеристика процесів утворення контакту при газотермічному напилюванні.

47. Плазмове напилювання, утворення фізичної площі контакту при ударній взаємодії частинок з поверхнею твердого тіла.

48. Механізми активації при газотермічному напилюванні (канали активації).

49. Температурний режим у міжфазній зоні в умовах плазмового напилювання.

50. Формування хімічних зв'язків і міжфазної зони при плазмовому напилюванні

51. Роль поверхневої енергії і дефектів у підвищенні контактної температури при плазмовому напилюванні.

В умовах **on-line** лекційні заняття проводяться з використанням платформи ZOOM

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: д.т.н., професор Копилов Вячеслав Іванович

Ухвалено кафедрою зварювального виробництва (протокол №6 від 18.11.23)

Погоджено Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №05/23 від 11.12.23)