



Технологія нанесення покриттів та їх властивості
Робоча програма навчальної дисципліни(Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

**Рівень вищої
освіти**

Перший (бакалаврський)

Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Статус дисципліни	Професійно вибіркова
Форма навчання	Очна (денна)/дистанційна /змішана
Рік підготовки, семестр	4 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити/120 годин
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік,мкр.
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент Білик Ігор Іванович, т.067 772 30 02 Лабораторні: ст.. викл.Руденький Сергій Олексійович
Розміщення курсу	кампус

Програма навчальної дисципліни

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

Напилені покриттів широко застосовується в різних галузях промисловості для захисту поверхонь різних деталей від зношування, а також від корозії в агресивних середовищах. Крім цього, технологія напилювання дозволяє відновлювати зношені деталі машин і механізмів, що дає значну економію матеріалів. Вивчатися в дисципліні будуть обладнання і технології газотермічного і вакуумно-конденсаційного напилювання, матеріали які використовують для їх реалізації

Набуті знання дозволять вільно орієнтуватися в технологічних особливостях напилення, прогнозувати їх властивості і створювати покриття з заданими властивостями.120 годин обсягу дисципліни “Технологія нанесення покриттів та їх властивості” включають 28 годин лекцій, 18 годин практичних і 74 годин СРС.

Метою навчальної дисципліни є підсилення у студентів фахових компетентностей спеціальності таких як:

- *Здатність визначати умови отримання напилені покриття із заданими властивостями з металів, сплавів та тугоплавких сполук*
- *Здатність обирати технологічний процес та його оптимальні умови для отримання покриттів з композиційних, наноструктурованих та порошкових матеріалів*

Предмет навчальної дисципліни «Технологія нанесення покриттів та їх властивості» - технології напилювання та обладнання для її реалізації.

Програмні результати навчання:

- Здатність ефективно використовувати технічну літературу та інші джерела інформації і галузі матеріалознавства .
- Здатність визначати вид та необхідну кількість технологічного обладнання та його конструктивних елементів для одержання порошків та виробів з них
- Уміння розраховувати необхідну кількість обладнання та його конструктивних елементів;
- Здійснювати технологічне забезпечення виготовлення матеріалів та виробів.

2.Пререквізити та постреквізити дисципліни

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни:

- Фізика;
- Хімія;
- Теорія процесів формування сируктури та властивостей напилених покриттів;
- Математичне і комп'ютерне моделювання.

Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «Технологія нанесення покриттів та їх властивості» необхідні студентам для підготовки звітів з переддипломної практики та дипломного проєктування. Результати вивчення дисципліни є складовою інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Організація очного /дистанційного навчання

Розділ 1.

Тема 1.Плазмові способи напилювання покриттів. Плазмотрони, конструкції і принцип роботи, конструкційні особливості плазмотронів. Багатодугові плазмотрони. Промислові установки для газового напилювання. Переваги і недоліки плазмового напилювання.

Тема 2. Електродугова металізація. Принцип роботи і схема розпилювальних головок електрометалізаторів. Особливості розпилення. Конструкційні особливості електрометалізаторів EM-12, EM-14, EM-15 та комплекту дугової металізації КДМ-2. Переваги і недоліки електродугової металізації. Джерела струму плазмових і електродугових установок. Вольтамперні характеристики. Система збудження дуги.Тигельний і індукційний способи напилювання покриттів. Загальна характеристика і принцип роботи. Переваги і недоліки.

Розділ 2

Тема 1. Газоповітряний спосіб напилювання. Короткі відомості про гази, які застосовуються, схеми пальників і їх особливості. Конструкції газо-полум'яних сопел.

Інжекторні і без інжекторні розпилювачі. Пристрої для транспортування порошків. Переваги і недоліки газоповітряного напилювання.

Тема 2. Газокисневий спосіб напилювання покриттів (детонаційно - газове напилювання). Загальні відомості про детонацію і рух газопорошкових сумішей. Схеми роботи детонаційних установок. Конструкції стволів установок і дозаторів порошку. Апаратура і обладнання для нанесення покриттів. Схема АДК, потужність та характеристика одержаних покриттів. Параметри детонаційного напилювання та їх взаємозв'язок. Оптимізація параметрів детонаційного напилювання. Переваги і недоліки детонаційного напилювання. Області застосування.

Розділ 3 Вакуумно - конденсаційні способи нанесення покриттів

Тема 1. Загальна характеристика вакуумно-конденсаційних способів напилювання. Випаровування матеріалів. Основні закономірності. Закон Рауля, правило Ленгмюра. Розпилення. Конденсація. Коефіцієнт конденсації і схема утворення покриття.

Тема 2. Напилювання покриттів термічним випаровуванням. Способи випаровування-розпилення матеріалів. Конструкції випаровувачів і способи нагріву розпилюваних матеріалів. Установки термічного напилювання. Напилювання покриттів вибуховим розпиленням матеріалів. Способи розпилення та застосування дуги низького тиску. Установки, їх характеристика. Переваги і недоліки способу.

Тема 3. Напилювання покриттів іонним розпиленням. Механізми розпилення. Ефективність і коефіцієнт розпилення. Діодна і тріодна схеми іонного розпилення. Магнетронна схема іонного розпилення. Установки, їх характеристика. Переваги і недоліки способу. Реакційне напилювання покриттів. Особливості реакційного напилювання. Схема процесу, установоки. Переваги і недоліки.

Розділ 4 Матеріали для нанесення покриттів

Тема 1. Загальні відомості про порошкові і дротяні матеріали для напилювання. Вимоги до порошків, стандарти, позначення і рекомендація по застосування. Технологія одержання матеріалів для напилювання. Одержання плакованих порошків. Додаткова обробка матеріалів, гнучкі порошкові дроти, особливості напилювання. Вибір матеріалів та способу напилювання відповідно до поставленого завдання.

Розділ 5 Технологія напилювання

Тема 1. Загальні відомості по технології газо-термічного і вакуумно-конденсаційного способів нанесення покриттів. Основні параметри напилювання і схема технологічного процесу. Схеми підготовки поверхні для напилювання газотермічним і вакуумно-конденсаційним напилюванням. Підготовка матеріалів які напилюють. Технологічні особливості газотермічних способів напилювання покриттів. Загальні параметри газотермічного напилювання і їх вплив на процес напилювання. Напилювання покриттів із різних матеріалів, металів, металевих сплавів, сполук та їх сумішей.

Тема 2 Технологічні особливості вакуумно-конденсаційного напилювання і їх вплив на ефективність процесу напилювання. Обробка напилених покриттів. Механічна, хіміко-термічна та ін. Контроль якості покриттів. Визначення міцності зчеплення покриття з основою, твердості, пористості, газопроникності. Клейова та штифтова методики. Визначення товщини покриття. Апаратура та її характеристика. Вибір типу покриття, його складу і товщини способу його напилювання.

4. Навчальні матеріали та ресурси.

Базові:

- 1.Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування з курсу «Устаткування та технологія напилених покриттів» - К.: КПІ. 1993. -48с.
- 2.Обладнання та технологія напилених покриттів: Методичні вказівки до лабораторних робіт по курсу -К.: ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2003.-36с.
- 3.Корж В.М. Технологія та обладнання для напилювання: Навчальний посібник. – К; НМЦВО, 2000. – 152с.

Додаткові

- 1.Білик І.І. Технологія та обладнання напилених покриттів: Навчальний посібник – К. Політехніка 2002. - 101 с.
- 2 .Корж В.М., Нанесення покриттів: Навчальний посібник /В.М. Корж В.Д. Кузнецов, Ю.С.Борисов, К.А. Ющенко – К.: Арістей 2005.-150с.

Зазначені базові навчальні матеріали є у вільному доступі у бібліотеці НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського і мережі Інтернет. Додаткові навчальні матеріали надаються для ознайомлення і глибшого розуміння предмету вивчення дисципліни.

Інформаційні ресурси

1. www.sciencedirect.com
2. <http://www.tspc.ru>
3. <http://www.dimet.com.ua>

Навчальний контент

5.Методика опанування навчальної дисципліни.

Лекційні заняття

Розділ 1.Тема1.

Лекція1. Історія розвитку покриттів, сучасний стан технології та обладнання, застосування в техніці. Класифікація по джерелу тепла, яке використовується в установках напилювання.

Лекція 2. Характеристика газоелектричного напилювання і обладнання для його реалізації. Установки, розпилювачі, переваги та недоліки.

Тема 2. Лекція 3. Електродугова металізація. Принцип роботи і схема розпилювальних головок електрометалізаторів. Особливості розпилення. Конструкційні особливості електрометалізаторів ЕМ-12, ЕМ-14, ЕМ-15 та комплекту дугової металізації КДМ-2. Переваги і недоліки електродугової металізації..

Лекція 4. Плазмове напилювання, конструкції плазмотронів, основні вузли плазмотронів та їх характеристика.

Лекція 5.Класифікація плазмотронів – однодугові, багато дугові та багато електродні. Джерела живлення плазмових та електродугових установок

Розділ 2

Лекція 6. Характеристика газополуменевого напилювання і обладнання для його реалізації. Газоповітряний спосіб напилювання.

Лекція 7. Характеристика газоповітряного способу напилювання.

Переваги,недоліки. Характеристика газів. Установки газоповітряного напилювання та їх характеристики. Інжекційні розпилювачі. Модульна контрольна робота.

Лекція 8. Газокисневий спосіб напилювання покриттів (детонаційно - газове напилювання). Загальні відомості про детонацію і рух газопорошкових сумішей. Схеми

роботи детонаційних установок. Конструкції стволів установок і дозаторів порошку.

Лекція 9. Апаратура і обладнання для нанесення покриттів газокисневим способом.

Параметри детонаційного напилювання та їх взаємозв'язок. Оптимізація параметрів детонаційного напилювання. Переваги і недоліки детонаційного напилювання. Области застосування.

Розділ 3., Тема 1. Лекція 10. Вакуумно-конденсаційний способи нанесення покриттів.

Загальна характеристика вакуумно-конденсаційних способів напилювання. Принципові

схеми. Тема 2. Лекція 11. Напилювання покриттів термічним випаровуванням. Конструкції випаровувачів і способи нагріву розпилюваних матеріалів. Установки термічного розпилювання. Переваги і недоліки термічного розпилення. Вибухове розпилення.

Установки та їх характеристики. Іонне розпилення. Діодна та тріодна схеми іонного розпилення, Магнетронна схема розпилення. Схеми та принцип роботи. Реакційне напилення. Схема та принцип роботи. Устаткування.

Розділ 4.

Розділ 4. Тема 1. Лекції 12. Матеріали для нанесення покриттів. Загальна характеристика матеріалів для напилювання. Вимоги до матеріалів. Технології виготовлення матеріалів. Метод металотермії, розпилення, агломерації та плакування. Напилювання покриттів із різних матеріалів (металів, сплавів, сполук оксидів, дротів, гнучких порошкових дротів). Основні параметри напилювання. Оптиміальні параметри напилювання.

Розділ 5.

Розділ 5, Тема 1, Лекції 13. Технологія напилювання. Основні параметри напилювання і схема технологічного процесу. Схеми підготовки поверхні для напилювання газотермічним і вакуумно-конденсаційним напилюванням. Підготовка матеріалів які напилюють. Технологічні особливості газотермічних способів напилювання покриттів. Загальні параметри газотермічного напилювання і їх вплив на процес напилювання. Напилювання покриттів із різних матеріалів, металів, металевих сплавів, сполук та їх сумішей.

Тема 2. Лекція 14. Технологічні особливості вакуумно-конденсаційного напилювання і їх вплив на ефективність процесу напилювання. Обробка напилених покриттів. Оплавлення (вимоги до деталей та покриття), обробка тиском, хіміко-термічна обробка та просочування рідкими металами. Контроль якості напилених покриттів. Вибір типу покриття, його товщини, способу напилювання. Вибір матеріалів покриття та обладнання для конкретних способів напилювання. Залік.

Лабораторні заняття

Л.Р. 1 Будова і робота електродугових металізаторів. (2 год.)

Л.Р. 2 Будова і робота плазмових установок (2 год)

Л.Р. 3 Будова і робота вакуумних установок (2)

Л.Р. 4 Будова і робота газополумених установок (2 год)

Л.Р. 5 Будова і робота вакуумних установок з резистивним нагрівом (ВУП 5)(2 год)

Л.Р. 6 Будова і робота електронно-промених установок

Л.Р. 7 Будова і робота установок вибухового розпилювання (ВУ 1Б)

Л.Р. 8 Вплив технологічних чинників на якість газотермічних покриттів

Л.Р. 9 Технологія отримання і контроль якості напилених покриттів

Самостійна робота студентів.

Самостійна робота студентів (74 год.) складається з:

- підготовка до лекцій 28 год.
- підготовка до лабораторних робіт написання протоколу і (18 г.год);
- підготовка до заліку 6 год.
- підготовка до МКР 6 год.
- робота над темами самостійного опрацювання 16 год

Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання
Оптимальні параметри газотермічного напилювання і їх зв'язок.
Перспективи розвитку техніки напилювання
Оптимальні параметри вакуумно конденсаційного напилювання і їх зв'язок.
Способи і обладнання для швидкісного і холодного напилювання
Матеріали для напилювання. Вимоги і технології отримання

Самостійна робота оцінюється при проведенні заліку.

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни.

Правила відвідування занять

Відвідування лекційних занять є бажаним, хоча і не обов'язковим. Відвідування лекційних занять дозволить студентам не тільки опанувати теоретичні знання безпосередньо на лекції, але і задати викладачу питання, що виникають під час викладання матеріалу лекції.

Відвідування лабораторних занять є обов'язковим.

Правила поведінки на заняттях.

На усіх заняттях, лекційних і лабораторних, вітається відключення звукових сигналів телефонів. Під час проведення лабораторних робіт у очному режимі в лабораторії №024-9 корпусі студенти повинні суворо дотримуватись правил техніки безпеки.

Умовою допуску до виконання лабораторної роботи є наявність у студента написаного протоколу. За дистанційної форми навчання студенти отримують індивідуальний доступ до завдання для лабораторної роботи за адресою даною викладачем і не пізніше тижня після виконання роботи надсилають викладачу оформлений звіт. Перевірка здійснюється викладачем упродовж наступного тижня.

Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є. О. Патона.

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

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

Види контролю

- Поточний контроль: лабораторні роботи, модульна контрольна робота (МКР).
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- Семестровий контроль: залік.

Кожний вид робіт оцінюється за 100-бальною шкалою. Коефіцієнти вагомості наведено у формулі

$$\text{Осеместр} = \sum 0,5 \cdot \text{Ол} + 0,5 \cdot \text{Омкр}$$

7.2 Критерії нарахування балів.

До кожної лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол, який складається із:

- номери;
- назви;
- мети;
- теоретичних відомостей, до яких включають основні визначення та умовні позначення;
- порядок виконання.

За дистанційної форми навчання напередодні заняття студенти вправляють написаний відруки протокол викладачу для перевірки. На занятті студенти допускаються до тестів з теорії лабораторної роботи. Після чого викладач проводить презентацію online для ознайомлення студентів із обладнанням і алгоритмом проведення лабораторної роботи. В кінці лабораторної роботи студенти отримують доступ до результатів дослідження. У продовж тижня студенти оформляють протокол лабораторної роботи відповідно до вимог завдання і надсилають на перевірку викладачу.

Кожна виконана і оформлена лабораторна робота оцінюється максимально у 100 балів за такими критеріями:

- підготовлений до лабораторної роботи протокол у відповідності до вимог – 10 балів;
- знання теорії лабораторної роботи – 30 балів;
- виконання лабораторної роботи, проведення розрахунків за результатами дослідження та їх обговорення – 50 балів;
- оформлення результатів відповідно до вимог і захист – 10

балів. Штрафні бали призначаються за:

- відсутність протоколу – 10 балів;
- протокол, що не відповідає вимогам – 5 балів;
- несамотійна робота на лабораторному занятті – 5 балів.

Ваговий коефіцієнт оцінювання результатів виконання кожної лабораторних робіт складає 0,1.

Модульна контрольна робота

На проведення роботи відводиться 1 академічна година. Студенти отримують завдання, що складається із 2 теоретичних питань (Додаток А).

За дистанційної форми навчання студенти отримують доступ до тестового завдання у

GoogleClassRoom, куди ж завантажують виконане завдання для перевірки. Максимально робота оцінюється у 100 балів із ваговим коефіцієнтом 0,5.

Календарний контроль

Календарний контроль (КК) проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го КК студенту необхідно оформити і захистити 4 ЛР щонайменше на 40 балів і отримати мінімум 50 балів за МКР. Для позитивного оцінювання 2-го КК студенту необхідно отримати мінімум по 50 балів за інші лабораторні роботи.

Залік.

Умовою допуску до заліку є виконання усіх лабораторних робіт і виконання МКР. Стартовий рейтинг має скласти не менше 60 балів, відповідно:

Лабораторні роботи (мінімум) – 36 бали (кожна ЛР щонайменше оцінюється у 4 бали) та МКР – 50 балів;

Студенти, що набрали упродовж семестру не менше 60 балів мають можливість отримати оцінку, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Для підвищення рейтингової оцінки студент може написати залікову контрольну роботу, але у цьому випадку попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

Залікова контрольна робота проводиться письмово. На проведення залікової контрольної роботи виділяється 1 академічні години часу.

Залікова контрольна робота складається із 4 питань, відповідно по одному питанню із кожного розділу, кожне із яких максимально оцінюється у 25 балів.

Сумарна максимальна оцінка складає 100 балів.

Робочу програму навчальної дисципліни

(силабус): Складено доцент, к.т.н., доцент, Білик

Ігор Іванович

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 21 від 08.07.2022р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім.Є.Патона (протокол № 10/22 від 10.липня 2022)

Додаток А

Модульна контрольна робота
по курсу „Технологія нанесення покриттів та їх властивості”

Завдання № 1

1. Схема процесу та основні параметри напилення.
2. Параметри режиму електродугової металізації та їх вплив на ефективність процесу.

Завдання № 2

1. Методи газотермічного напилення та їх класифікація.
2. Застосування електродугової металізації, переваги, недолки.

Завдання № 3

1. Основні параметри газотермічного напилення та їх вплив на ефективність процесу.
2. Високочастотна (індукційна) металізація та її технологічні особливості.

Завдання № 4

1. Параметри напилення, які характеризують зовнішні умови напилення.
2. Функціональні схеми установок для газотермічного напилення.

Завдання № 5

1. Параметри розпилюючого струменю та потоку часток, які напилюються.
2. Плазмові розпилювачі.

Завдання № 6

1. Плазма як джерело нагріву та розпилення матеріалів.
2. Підготовка поверхні для газотермічного напилення.

Завдання № 7

1. Плазмоутворюючі гази.
2. Газополум’яні розпилювачі.

Завдання № 8

1. Способи плазмового напилення та їх технологічні особливості.
2. Детонаційно-газові розпилювачі.

Завдання № 9

1. Схеми плазмового напилення.
2. Електродугові металізаційні розпилювачі.

Завдання № 10

1. Схема плазмового напилення з захисною атмосферою.
2. Застосування перехідних шарів.

Завдання № 11

1. Газове полум’я як джерело нагріву та розпилення матеріалів.
2. Електродугові металізаційні розпилювачі.

Завдання № 12

1. Схема газополум’яного напилення.
2. Обробка покриттів після напилення.

Завдання № 13

1. Способи та технологічні особливості газополум’яного напилення.
2. Механізми подачі матеріалу, який розпилюється.

Завдання № 14

1. Параметри газополум’яного напилення та їх вплив на ефективність процесу.

2. Детонаційно-газове напилення.

Завдання № 15

1. Детонаційний вибух – джерело нагріву та розпилу матеріалів.
2. Обладнання для плазмового напилення.

Завдання № 16

1. Схема детонаційного газового напилення.
2. Особливості горіння дуги в плазмових та електродугових розпилювачах.

Завдання № 17

1. Технологічні особливості способів детонаційно-газового напилення.
2. Вибір вольтамперної характеристики джерела плавлення дуги.

Завдання № 18

1. Особливості застосування детонаційного напилення. Переваги та недоліки.
2. Джерела живлення плазмових установок.

Завдання № 19

1. Установки для плазмового напилення.
2. Підготовка поверхні напилених виробів.

Завдання № 20

1. Установки для газополум'яного напилення.
2. Будова композиційних покриттів.