



Технології нанесення покриттів та їх властивості

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити/120 годин, лекції – 36 год, лабораторні роботи – 18 год, СРС – 66 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор Смирнов Ігор Володимирович Лабораторні роботи: д.т.н., професор Смирнов Ігор Володимирович</i>
Розміщення курсу	<i>classroom</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Застосування захисних покриттів дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики машин та механізмів, збільшити термін їх роботи, зменшити витрати металів, поновити зношені деталі. Вакуумно-конденсаційне напилення дозволяє успішно отримувати наноструктуровані покриття.

Вивчатися в дисципліні будуть технології напилення різними способами та вплив режимів на властивості покриттів.

Набуті знання дозволять вільно орієнтуватися в технологічних особливостях напилення, прогнозувати їх властивості і створювати покриття з заданими характеристиками.

Метою навчальної дисципліни є набуття студентами таких здатностей як:

- Здатність розробляти технології напилення покриттів, відповідно до поставленого завдання.
- Здатність визначати умови отримання напилених покриттів із заданими властивостями з металів, сплавів та тугоплавких сполук.
- Здатність обирати технологічний процес та його оптимальні умови для отримання виробів з композиційних, наноструктурованих та порошкових матеріалів.
- Здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем.

Предмет навчальної дисципліни «Технології нанесення покриттів та їх властивості» – технології газотермічного та вакуумно-конденсаційного напилення та фізико-механічні властивості покриттів.

Після вивчення дисципліни студенти повинні демонструвати такі **результати навчання**:

- Розробляти технологічні процеси нанесення покриттів та обирати оптимальні режими газотермічного та вакуумно-конденсаційного напилення.
- Здійснювати технологічне забезпечення виготовлення матеріалів та виробів з покриттям.
- Вміння обирати послідовність та параметри технологічних процесів для одержання покриттів з дисперсних матеріалів для заданих умов експлуатації.
- Уміння розраховувати необхідну кількість технологічного обладнання для нанесення покриттів та його конструктивних елементів.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни:

- Фізика;
- Хімія;
- Основи металознавства;
- Методи моделювання та оптимізації
- Механічні властивості матеріалів.

Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни «Технології нанесення покриттів та їх властивості» необхідні студентам для підготовки звітів з переддипломної практики і курсового та дипломного проєктування. Результати вивчення дисципліни є складовою інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Організація очного /дистанційного навчання

Розділ 1. Технології газо-термічного нанесення покриттів

Тема 1.1. Технологічний процес плазмового напилення покриттів. Розрахунок та вибір режимів плазмового напилення. Переваги і недоліки плазмового напилювання. Вольтамперні характеристики дуги та джерела струму.

Тема 1.2. Технологічний процес електродугової металізації. Режими електродугового напилення покриттів. Особливості розпилення. Переваги і недоліки електродугової металізації. Підготовка поверхні для напилювання газотермічними способами напилення.

Розділ 2. Технології детонаційного та газо-полуменевого нанесення покриттів

Тема 2.1. Технологічний процесгазополуменевогонапилення. Відомості про гази, які застосовуються. Схеми формування газополуменевих покриттів з оплавленням, без оплавлення. Переваги і недоліки газополуменевого напилення.

Тема 2.2. Технологічний процес детонаційно - газового напилення. Загальні відомості про детонацію і рух газопорошкових сумішей. Схеми роботи детонаційних установок. Параметри детонаційного напилювання та їх взаємозв'язок. Оптимізація параметрів детонаційного напилювання. Переваги і недоліки детонаційного напилювання. Области застосування.

Розділ 3. Технології вакуумно - конденсаційного нанесення покриттів

Тема 3.1. Загальна характеристика вакуумно-конденсаційних способів напилення. Основні закономірності випаровування, розпилення, конденсації. Коефіцієнт конденсації і схема утворення покриття. Підготовка поверхні для напилення вакуумно-конденсаційнимиспособами.

Тема 3.2.Технологічний процес напилення покриттів термічним випаровуванням. Способи випаровування-розпилення матеріалів. Напилення покриттів вибуховим розпиленням матеріалів. Способи розпилення та застосування дуги низького тиску. Переваги і недоліки способу.

Тема 3.3. Технологічний процес напилення покриттів іонним розпиленням. Механізми розпилення. Діодна і тріодна схеми іонного розпилення. Магнетронна схема іонного розпилення. Переваги і недоліки способу. Реакційне напилювання покриттів. Особливості реакційного напилювання.

Розділ 4. Властивості напилених покриттів

Тема 4.1. Контроль якості покриттів. Визначення міцності зчеплення покриття з основою, твердості, пористості, газопроникності. Клейова та штифтова методика. Зносостійкість газотермічних покриттів. Вибір типу покриття, його складу, товщини способу його напилення.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базові:

1. Білик І. І. Технологія нанесення покриттів та їх властивості : навчальний посібник / І. І. Білик, С. О. Руденький. – Електронне мережне навчальне видання. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 120 с.
2. Дубовий О. М.Технологія напилювання покриттів : підручник / О. М.Дубовий, А. М. Степанчук. – Миколаїв : НУК, 2007. – 236 с.
3. Білик І. І. Технологія та обладнання напилених покриттів : навч. посіб. для студентів вищ. начв. зак. / І. І. Білик. – Київ : Політехніка, 2002. – 101 с.

Додаткові:

4. Нанесення покриттів : навч. посіб. для студентів вищ. навч. зак. / Корж В. М., Кузнецов В. Д., Борисов Ю. С., Ющенко К. А. – Кмїв : Арістей, 2005. – 150 с.
- Зазначені базові навчальні матеріали є у вільному доступі у бібліотеці 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.dimet.com.ua>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни

5.1. Лекційні заняття

Розділ 1. Технології газо-термічного нанесення покриттів

Тема 1.1.

Лекція 1. Технологічний процес плазмового напилення покриттів.

Лекція 2. Розрахунок та вибір режимів плазмового напилення. Переваги і недоліки плазмового напилювання.

Лекція 3. Вольт-амперні характеристики дуги та джерел струму.

Тема 1.2.

Лекція 4. Технологічний процес електродугової металізації. Особливості розпилення.

Лекція 5. Режими електродугового напилення покриттів. Переваги і недоліки електродугової металізації.

Лекція 6. Підготовка поверхні для напилювання газотермічними способами напилення.

Розділ 2. Технології детонаційного та газо-полуменевого нанесення покриттів

Тема 2.1.

Лекція 7. Технологічний процес газополуменевого напилення. Відомості про гази, які застосовуються.

Лекція 8. Схеми формування газополуменевих покриттів з оплавленням, без оплавлення. Переваги і недоліки газополуменевого напилення.

Тема 2.2.

Лекція 9. Технологічний процес детонаційно - газового напилення. Загальні відомості про детонацію і рух газопорошкових сумішей. Схеми роботи детонаційних установок.

Лекція 10. Параметри детонаційного напилювання та їх взаємозв'язок. Оптимізація параметрів детонаційного напилювання. Переваги і недоліки детонаційного напилювання. Області застосування.

Розділ 3. Технології вакуумно - конденсаційного нанесення покриттів

Тема 3.1.

Лекція 11. Загальна характеристика вакуумно-конденсаційних способів напилення. Основні закономірності випаровування, розпилення, конденсації.

Лекція 12. Коефіцієнт конденсації і схема утворення покриття. Підготовка поверхні для напилення вакуумно-конденсаційними способами.

Тема 3.2.

Лекція 13. Технологічний процес напилення покриттів термічним випаровуванням. Способи випаровування-розпилення матеріалів.

Лекція 14. Напилення покриттів вибуховим розпиленням матеріалів. Способи розпилення та застосування дуги низького тиску. Переваги і недоліки способу.

Тема 3.3.

Лекція 15. Технологічний процес напилення покриттів іонним розпиленням. Механізми розпилення. Діодна і тріодна схеми іонного розпилення.

Лекція 16. Магнетронна схема іонного розпилення. Переваги і недоліки способу. Реакційне напилювання покриттів. Особливості реакційного напилювання.

Розділ 4. Властивості напилених покриттів

Тема 4.1.

Лекція 17. Контроль якості покриттів. Визначення міцності зчеплення покриття з основою, твердості, пористості, газопроникності. Клейова та штифтова методики.

Лекція 18. Зносостійкість газотермічних покриттів. Вибір типу зносостійкого покриття, його складу, товщини способу його напилення.

5.2. Лабораторні роботи

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1.	Визначення коефіцієнту використання матеріалу при газополуменовому напиленні	2
2.	Визначення коефіцієнту використання матеріалу при плазмовому напиленні	2
3.	Дослідження зміни температури плазмового струменя від дистанції напилення	2
4.	Дослідження швидкодії вакуумної системи для напилення покриттів ВУ-1Б	2
5.	Відпрацювання техніки напилення покриттів вакуумно-дуговим методом	2
6.	Вплив технологічних чинників на якість газотермічних покриттів	2
7.	Технологія отримання і контроль якості напилених покриттів	2
8.	Модульна контрольна робота	2
9.	Залік	2
	Всього	18

6. Самостійна робота студентів

Самостійна робота студентів (66 год.) складається з:

1. Підготовка до лекцій – 17 год;
2. Підготовка до лабораторних робіт – 7 год;
3. Підготовка до МКР – 4 год;
4. Підготовка до заліку – 6 год;
5. Робота над темами самостійного опрацювання – 32 год.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання
1	Раціональні технологічні режими плазмового напилення та їх зв'язок.
2	Раціональні технологічні режими вакуумно-конденсаційного напилення та їх зв'язок.
3	Режимні параметри абразивно-струменевої обробки.
4	Особливості механічної обробки поверхонь з покриттями.
5	Оплавлення та термічна обробка газотермічних покриттів.
6	Можливі дефекти у процесі напилення та способи їх усунення.

Якість опрацювання тем, що виносяться на самостійне опрацювання оцінюється під час проведення заліку.

Політика та контроль

7. 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 "КПІ ім. Ігоря Сікорського" відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті ННІМЗ 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>.

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

8.1. Види контролю

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

8.2. Критерії нарахування балів

Умови допуску до семестрового контролю: виконання лабораторних робіт та написання МКР щонайменше на 60 балів.

Поточний контроль

- Активність на лекціях оцінюється ваговим балом – 2. Максимальна кількість балів на всіх лекціях складає: 2 бали × 17 = 34 бали.
- Виконання лабораторних робіт оцінюється ваговим балом – від 1 до 6. Максимальна кількість балів за всі практичні заняття складає: 6 балів × 7 = 42 бали.
- Виконання модульної контрольної роботи оцінюється – від 1 до 24 балів.

На проведення модульної контрольної роботи відводиться 2 академічні години. 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. Відповідь на кожне питання оцінюється від 1 до 12 балів. Максимальна кількість балів за МКР складає: $12 \text{ балів} \times 2 = 24 \text{ бали}$.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RC=34 + 42 + 24 = 100 \text{ балів.}$$

Календарний контроль

Календарний контроль (КК) проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го КК студентам необхідно оформити та захистити виконані лабораторні роботи. Для позитивного оцінювання 2-го КК студентам необхідно написати позитивно МКР.

Залік

Умовою допуску до заліку виконання усіх практичних робіт написання МКР щонайменше на 60 балів. Студенти, що набрали упродовж семестру не менше 60 балів, як середнє від суми усіх виконаних завдань, мають можливість отримати оцінку, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

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

Критерії оцінки :

Залікова контрольна робота складається з 10 теоретичних та практичних питань.

Правильна відповідь на кожне оцінюється в 10 балів ($10 \times 10=100$ балів).

Шкала оцінювання кожного із 10 теоретичних питань:

0 - відповідь невірна або відсутня;

1-3 – відповідь частково (на 30%) вірна.

4-6 – відповідь частково (на 60%) вірна.

7-9 – відповідь частково (на 90%) вірна.

10 - відповідь правильна і повна.

Величина шкали залікової контрольної роботи $R = 100$ балів.

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

Залікова контрольна робота проводиться усно. Студент отримує 2 питання, відповіді на які максимально оцінюються у 100 балів (50 балів за правильну відповідь на кожне питання), відповідно:

- 100-95 балів – повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);
- 90-85 балів – достатньо повна відповідь, не менше 80 % потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями);
- 85-70 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».

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *Питання до модульної контрольної роботи наведено у Додатку А.*
- *Питання, які виносяться на залікову контрольну роботу наведені у Додатку Б.*
- *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, д.т.н. Смирнов Ігор Володимирович

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.)

Завдання для модульної контрольної роботи

Завдання №1

1. Класифікація газотермічних способів напилювання.
2. Суть електродугової металізації.

Завдання №2

1. Загальна характеристика плазмового напилювання.
2. Характеристика анодного і катодного вузлів плазмотрона.

Завдання №3

1. Способи стабілізації дуги в плазмотронах.
2. Конструкція анодного вузла плазмотрона.

Завдання №4

1. Вузол подачі плазмотвірного газу в плазмотрон.
2. Визначення твердості напилених покриттів.

Завдання №5

1. Схеми збудження дуги в плазмотронах.
2. Вольт-амперні характеристики дуги і джерел струму.

Завдання №6

1. Загальна характеристика детонаційного напилювання.
2. Визначення міцності зчеплення газотермічних покриттів.

Завдання №7

1. Блок подачі напилюваного матеріалу детонаційних установок.
2. Визначення пористості напилених покриттів.

Завдання №8

1. Загальна характеристика газоповітряних способів напилювання.
2. Термічне напилювання.

Завдання №9

1. Вибухове напилювання.
2. Характеристика магнетронного напилювання

Завдання №10

1. Діодна схема іонного напилювання.
2. Переваги композиційних порошків.

Завдання №11

1. Реакційне напилювання.
2. Загальна характеристика матеріалів для напилювання.

Завдання №12

1. Трійна схема іонного напилювання.
2. Вимоги до порошків для напилювання.

Завдання №13

1. Способи виготовлення порошків для напилювання.
2. Основні параметри напилення.

Завдання №14

1. Параметри плазмового напилення.
2. Параметри вакуумно-конденсаційного напилення.

Завдання №15

1. Узагальнена схема напилення.

2. Підготовка поверхні за газотермічного напилення.

Завдання №16

1. Підготовка поверхні за вакуумно-конденсаційного напилення.
2. Особливості напилювання різних матеріалів.

Завдання №17

1. Додаткова обробка покриттів.
2. Контроль якості покриттів.

Завдання №18

1. Фактори що впливають на властивості покриттів.
2. Вибір типу покриття, його складу, товщини і способу напилення.

Завдання №19

1. Обробка напиленого покриття..
2. Визначення зносостійкості напилених покриттів.

Завдання №20

1. Оплавлення та термічна обробка газотермічних покриттів.
2. Можливі дефекти у процесі напилення та способи їх усунення.

Завдання до залікової контрольної роботи

1. Класифікація газотермічних способів напилювання.
2. Суть електродугової металізації.
3. Загальна характеристика плазмового напилювання.
4. Характеристика анодного і катодного вузлів плазмотрона.
5. Способи стабілізації дуги в плазмотронах.
6. Конструкція анодного вузла плазмотрона.
7. Вузол подачі плазмотвірного газу в плазмотрон.
8. Конструкції плазмотронів.
9. Схеми збудження дуги в плазмотронах.
10. Вольт-амперні характеристики дуги і джерел струму.
11. Загальна характеристика детонаційного напилювання.
12. Основні вузли установки детонаційного напилювання.
13. Блок подачі напилюваного матеріалу детонаційних установок.
14. Обладнання для детонаційного напилювання.
15. Загальна характеристика газоповітряних способів напилювання.
16. Термічне напилювання.
17. Вибухове напилювання.
18. Характеристика магнетронного напилювання
19. Діодна схема іонного напилювання.
20. Тріодна схема іонного напилювання.
21. Реакційне напилювання.
22. Загальна характеристика матеріалів для напилювання.
23. Переваги композиційних порошків.
24. Вимоги до порошків для напилювання.
25. Способи виготовлення порошків для напилювання.
26. Основні параметри напилення.
27. Параметри плазмового напилення.
28. Параметри вакуумно-конденсаційного напилення.
29. Узагальнена схема напилення.
30. Підготовка поверхні за газотермічного напилення.
31. Підготовка поверхні за вакуумно-конденсаційного напилення.
32. Особливості напилювання різних матеріалів.
33. Додаткова обробка покриттів.
34. Контроль якості покриттів.
35. Фактори що впливають на властивості покриттів.
36. Вибір типу покриття, його складу, товщини і способу напилення.
37. Визначення твердості напилених покриттів.
38. Визначення пористості напилених покриттів.
39. Визначення міцності зчеплення напилених покриттів.
40. Зносостійкість напилених покриттів.