



Обладнання та матеріали для напилення покриттів

Робоча програма навчальної дисципліни(Силабус)

1. 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/МКР</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>

2. Програма навчальної дисципліни

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

Ефективність використання покриттів в промисловості та їх властивості залежать від матеріалів, які використовують та обладнання для реалізації процесу напилення. Вивчатися в дисципліні будуть конструкції обладнання для напилення, параметри роботи, їх вплив на властивості покриттів, а також матеріали для напилення – їх властивості та особливості застосування.

Набуті знання дозволять вільно орієнтуватися в технологічних особливостях найбільш поширених способах напилення – газотермічного і вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів, прогнозувати їх властивості і створювати покриття з заданими властивостями.

***Метою** навчальної дисципліни є формування у студентів таких компетентностей, що підсилюють програмні фахові (спеціальні) компетентності спеціальності, як:*

- Здатність обирати обладнання та матеріали відповідно до технології напилення та поставленого завдання.*

Обладнання та матеріали для напилення покриттів

- 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 покриттів з композиційних, наноструктурованих та порошкових матеріалів.
- Здатність визначати вид та необхідну кількість технологічного обладнання та його конструктивних елементів для одержання порошків та виробів з них.
- Здатність забезпечувати якість матеріалів та виробів з напиленням покриттям.

Предмет навчальної дисципліни – обладнання для газотермічного та вакуумно-конденсаційного напилення та матеріали для виконання поставлених завдань.

Програмні результати навчання:

1. Уміти кваліфіковано обирати устаткування для газотермічного та вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів різного функціонального призначення. Розуміти будову металевих, неметалевих та композиційних матеріалів.
2. Уміти визначати умови роботи та застосовувати виробниче обладнання для обробки матеріалів та напилення покриттів.
3. Уміти призначати технічні характеристики установок для нанесення покриттів. Знання основних груп матеріалів та здатність обґрунтовано здійснювати їх вибір для конкретного використання.
4. Уміти використовувати засоби та володіти методами забезпечення та контролю якості порошкових матеріалів та покриттів на їх основі.

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

Нормативні дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни:

- Фізика;
- Хімія;
- Основи металознавства;
- Матеріалознавство тугоплавких матеріалів;
- Математичне і комп'ютерне моделювання.

Окрім того, необхідні знання вибіркової дисципліни «Теорія нанесення покриттів» Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни «Обладнання та матеріали для напилення покриттів» необхідні студентам для виконання курсових і дипломних проєктів, підготовки звітів з переддипломної практики. 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. Обладнання та конструктивні особливості для плазмового та електродугового напилення.

Тема 1.1. Обладнання для реалізації плазмового напилення. Плазмотрони, конструкції і принцип роботи, конструкційні особливості плазмотронів. Промислові установки.

Тема 1.2. Обладнання для реалізації електродугової металізації. Принцип роботи і

Обладнання та матеріали для напилення покриттів

схема розпилювальних головок електрометалізаторів. Конструкційні особливості електро-металізаторів EM-12, EM-14, EM-15 та комплекту дугової металізації КДМ-2. Джерела струму плазмових і електродугових установок. Системи збудження дуги.

Розділ 2. Обладнання для газового напилення покриттів

Тема 2.1. Обладнання для газоповітряного способу напилювання. Будова пальників та їх особливості. Конструкції газо-полуменевих сопел. Інжекторні і без інжекторні розпилювачі. Пристрої для транспортування порошків.

Тема 2.2. Обладнання для детонаційного напилення покриттів. Конструкції стволів установок і дозаторів порошку. Апаратура і обладнання для нанесення покриттів. Схема автоматичного детонаційного комплексу, потужність та технологічні характеристики.

Розділ 3. Обладнання для вакуумно-конденсаційних способів нанесення покриттів

Тема 3.1. Установки для напилення покриттів термічним випаровуванням. Конструкції випаровувачів і способи нагріву розпилюваних матеріалів. Механізми вибухового розпилення матеріалів. Установки, їх характеристика.

Тема 3.2. Установки для напилення покриттів іонним розпиленням. Магнетрони для нанесення покриттів, їх характеристика. Ефективність та коефіцієнт розпилення.

Тема 3.3. Вакуумні системи установок. Загальна характеристика вакуумних насосів. Матеріали та робочі гази та рідини.

Розділ 4. Матеріали для нанесення покриттів

Тема 4.1. Загальна характеристика матеріалів для напилення покриттів. Вимоги до матеріалів (порошки, дроти, виливки) стандарти, позначення і рекомендація по застосуванню.

Лекцій 14. Технології та обладнання виготовлення матеріалів для напилення покриттів. Метод металотермії, розпилення, агломерації, механо-хімічного легування та плакування.

Тема 4.2. Напилення покриттів із різних матеріалів.

Лекція 15. Напилення покриттів із різних матеріалів (металів, сплавів, сполук оксидів, дротів, гнучких порошкових дротів). Основні параметри напилення.

Лекція 16. Особливості газотермічного та вакуумно-конденсаційного напилення матеріалів, відмінних за своїми фізико-механічними властивостями.

4. Навчальні матеріали та ресурси.

Базові:

- 1. Білик І. І. Технологія та обладнання напилених покриттів : навч. посібник / І. І. Білик. – Київ : Політехніка, 2002. – 101 с.*
- 2. Корж В. М. Технологія та обладнання для напилювання : навч. посібник / В. М. Корж. – Київ : НМЦВО, 2000. – 152 с.*
- 3. Смирнов І. В. Обладнання та технологія вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів : навч. посіб. / І. В. Смирнов, В. М. Пащенко. – Харків : Мачулін, 2016. – 236 с.*
- 4. Пащенко В. М. Обладнання для газотермічного нанесення покриттів : навч. посібник / В. М. Пащенко. – Київ : ІВЦ «Політехніка», 2001. – 416 с.*

Додаткові:

- 1. Обладнання та технологія напилених покриттів : методичні вказівки до*

лабораторних робіт по курсу / уклад.: І. І. Білик. – Київ: ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2003. – 36 с.

Зазначені базові навчальні матеріали є у вільному доступі у бібліотеці НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського і мережі Інтернет.

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. Обладнання та конструктивні особливості для плазмового та електродугового напилення.

Тема 1.1.

Лекція 1. Вступ. Сучасний стан обладнання для реалізації плазмового напилення. Промислові установки для плазмового напилення покриттів.

Лекція 2. Плазмотрони для напилення покриттів, конструкції і принцип роботи, конструкційні особливості плазмотронів прямої та непрямої дії.

Тема 1.2.

Лекція 3. Обладнання для реалізації електродугової металізації. Принцип роботи і схема розпилювальних головок електрометалізаторів.

Лекція 4. Конструкційні особливості електро-металізаторів EM-12, EM-14, EM-15 та комплексу дугової металізації КДМ-2.

Лекція 5. Джерела струму плазмових і електродугових установок. Системи збудження дуги.

Розділ 2. Обладнання для газового напилення покриттів

Тема 2.1.

Лекція 6. Обладнання для газополуменевого напилення та його характеристики.

Лекція 7. Будова пальників та їх особливості. Конструкції газо-полумених сопел. Інжекторні і без інжекторні розпилювачі. Пристрої для транспортування порошків.

Тема 2.2.

Лекція 8. Обладнання для детонаційного напилення покриттів та його характеристики.

Лекція 9. Конструкції стволів установок і дозаторів порошку. Схема та характеристики автоматичного детонаційного комплексу.

Розділ 3. Обладнання для вакуумно-конденсаційних способів нанесення покриттів

Тема 3.1.

Лекція 9. Установки для напилення покриттів термічним випаровуванням та їх технічні характеристики.

Лекція 10. Конструкції випаровувачів і способи нагріву розпилюваних матеріалів. Механізми вибухового розпилення матеріалів. Установки, їх характеристики.

Тема 3.2.

Лекція 11. Установки для напилення покриттів іонним розпиленням їх особливості.

Лекція 12. Магнетрони для нанесення покриттів, їх характеристика. Ефективність і коефіцієнт розпилення.

Обладнання та матеріали для напилення покриттів

Тема 3.3.

Лекція 13. Вакуумні системи установок. Загальна характеристика вакуумних насосів.

Лекція 14. Матеріали та робочі гази та рідини.

Розділ 4. Матеріали для нанесення покриттів

Тема 4.1.

Лекцій 15. Загальна характеристика матеріалів для напилення покриттів. Вимоги до матеріалів (порошки, дроти, виливки) стандарти, позначення і рекомендація по застосування.

Лекцій 16. Технології та обладнання виготовлення матеріалів для напилення покриттів. Метод металотермії, розпилення, агломерації, механо-хімічного легування та плакування.

Тема 4.2.

Лекція 17. Напилення покриттів із різних матеріалів (металів, сплавів, сполук оксидів, дротів, гнучких порошкових дротів). Основні параметри напилення.

Лекція 18. Особливості газотермічного та вакуумно-конденсаційного напилення матеріалів, відмінних за своїми фізико-механічними властивостями.

5.2. Лабораторні роботи

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1.	Будова і робота електродугових металізаторів	2
2.	Будова і робота газополумених установок	2
3.	Будова і робота плазмових установок	2
4.	Будова і робота живильників-дозаторів порошоків для напилення покриттів	2
5.	Будова і робота установок вакуумного напилення з резистивним випаровуванням (ВУП 5)	2
6.	Будова і робота установок вакуумно-дугового напилення (ВУ 1Б)	2
7.	Будова і робота вакуумних насосів	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	Оптимальні параметри установок для газотермічного напилення та їх зв'язок.
2	Оптимальні параметри установок для вакуумно-конденсаційного напилення

Обладнання та матеріали для напилення покриттів

	та їх зв'язок.
3	Допоміжне устаткування для нанесення газотермічних та вакуумно-конденсаційних покриттів.
4	Установки електронно-променевого напилення
5	Будова та робота обладнання для газодинамічного напилення
6	Матеріали для напилення. Вимоги і способи отримання.

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

3. 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 корпусу 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 ел. адресою даною викладачем і не пізніше тижня після виконання роботи надсилають викладачу оформлений звіт. Перевірка здійснюється викладачем упродовж наступного тижня. Переписування МКР проводиться за домовленістю із викладачем.

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>.

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

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.

Умови допуску до семестрового контролю: виконання лабораторних робіт та

Обладнання та матеріали для напилення покриттів

написання МКР щонайменше на 60 балів.

Поточний контроль

- Активність на лекціях оцінюється ваговим балом – 2. Максимальна кількість балів на всіх лекціях складає: $2 \text{ бали} \times 17 = 34 \text{ бали}$.
- Виконання лабораторних робіт оцінюється ваговим балом – від 1 до 6. Максимальна кількість балів за всі практичні заняття складає: $6 \text{ балів} \times 7 = 42 \text{ бали}$.
- 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 є виконання усіх практичних робіт і 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

Обладнання та матеріали для напилення покриттів

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:

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)

- 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 до Модульної контрольної роботи

Завдання № 1

1. *Схема обладнання 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, недоліки.*

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. *Плазмоутворювальні гази.*
2. *Газополуменеві 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 газополуменевого напилення.*
2. *Обробка покриттів після напилення.*

Завдання № 13

1. *Способи та технологічні особливості газополуменевого напилення.*
2. *Механізми подачі матеріалу, який розпилюється.*

Обладнання та матеріали для напилення покриттів

Завдання № 14

- 1. Параметри газополуменевого 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 вольт-амперної 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 газополуменевого напилення.*
- 2. Будова композиційних покриттів.*

Питання до залікової контрольної роботи

1. *Схема процесу та основні параметри напилення.*
2. *Параметри режиму електродугової металізації та їх вплив на ефективність процесу.*
3. *Установки для детонаційного напилення.*
4. *Методи газотермічного напилення та їх класифікація.*
5. *Застосування електродугової металізації, переваги, недоліки.*
6. *Установки для електродугової металізації.*
7. *Основні параметри газотермічного напилення та їх вплив на ефективність процесу.*
8. *Високочастотна (індукційна) металізація та її технологічні особливості.*
9. *Схема плазмового напилення розпиленням проволочи.*
10. *Параметри напилення, які характеризують зовнішні умови напилення.*
11. *Функціональні схеми установок для газотермічного напилення.*
12. *Схема плазмового напилення проволочкою.*
13. *Параметри розпилюючого струменю та потоку часток, які напилюються.*
14. *Плазмові розпилювачі.*
15. *Схема газополуменевого напилення покриттів.*
16. *Плазма як джерело нагріву та розпилення матеріалів.*
17. *Системи збудження дуги в плазмотронах.*
18. *Підготовка поверхні для газотермічного напилення.*
19. *Плазмо-утворювальні гази.*
20. *Газо-полуменеві розпилювачі.*
21. *Вибір типу покриття.*
22. *Способи плазмового напилення та їх технологічні особливості.*
23. *Детонаційно-газові розпилювачі.*
24. *Вибір складу покриття та його товщини.*
25. *Схеми плазмового напилення.*
26. *Електродугові металізаційні розпилювачі.*
27. *Структура газотермічних покриттів.*
28. *Схема плазмового напилення з захисною атмосферою.*
29. *Механізми подачі розпилюваного матеріалу при газотермічному розпиленні.*
30. *Застосування перехідних шарів.*
31. *Газове полум'я як джерело нагріву та розпилення матеріалів.*
32. *Електродугові металізаційні розпилювачі.*
33. *Порошки для газотермічного напилення та способи їх підготовки.*