



Обладнання для газотермічного нанесення покриття Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітня програма	Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій
Статус дисципліни	вибіркова
Форма навчання	заочна, змішана
Рік підготовки, семестр	1 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	150 годин / 5 кредитів ECTS (Лекції - 12 год., практичні - 2 год., лабораторні – 4 год., СРС – 132 год)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	МКР, екзамен
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., доцент Пащенко Валерій Миколайович, valnikpas@gmail.com Практичні, лабораторні: к.т.н., доцент Чорний Андрій Вячеславович, a.chorny@kpi.ua
Розміщення курсу	Лекції з дисципліни і методичні вказівки до практичних та лабораторних занять висилаються кожному студенту по електронній пошті. Контрольні примірники передаються методисту кафедри для збереження в електронній бібліотеці кафедри

Програма навчальної дисципліни

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

У дисципліні розглянуті принципи побудови основних систем комплексів обладнання для нанесення газотермічних покриттів: розпилювальних пристроїв для нанесення покриття, систем підготовки робочих газів, систем енергоживлення, систем подавання матеріалу, що формує покриття, систем взаємного переміщення інструменту і об'єкту обробки, систем вентиляції та фільтрації, систем охолодження елементів конструкції; розглянуті принципи дії основних елементів згаданих систем; наведені приклади комплексів обладнання для газотермічного нанесення покриття.

Мета дисципліни – формування у студентів системи знань щодо принципу дії і особливостей побудови та конструкції компонентів обладнання і комплексів на їх основі для газотермічних методів нанесення покриття.

Предмет дисципліни – обладнання для газотермічного нанесення покриттів.

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

Загальні компетентності:

- 1) Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми. (ЗК 1)
- 2) Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології. (ЗК 2)

Фахові компетентності:

- 1) Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук. (ФК2)
- 2) Здатність проєктувати сучасне технологічне обладнання і оснащення для зварювання, лазерних та споріднених технологій. (ФК14)

В результаті вивчення дисципліни студент деталізує такі програмні результати навчання:

Вести пошук необхідної інформації в науково-технічній літературі, електронних базах та інших джерелах, засвоювати, оцінювати та аналізувати цю інформацію. (РН10)

Розробляти ескізи, технічні та робочі проєкти для зварювання, лазерних та споріднених технологій; створювати тривимірні моделі виробів; описувати принципи дії пристроїв, проєктованих виробів та об'єктів з обґрунтуванням прийнятих технічних рішень (РН 21);

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

Для успішного засвоєння «Обладнання для газотермічного нанесення покриття» студент повинен мати базові знання з дисциплін:

- Хімія;
- Загальна фізика;
- Матеріалознавство;
- Електротехніка та електроніка.
- Фізико-хімічні основи нанесення покриттів та модифікації поверхні

Знання, отримані в результаті вивчення дисципліни «Обладнання для газотермічного нанесення покриття» можуть бути використані у ході виконання курсових проєктів та дипломного проєкту за напрямом, який відповідає освітній програмі «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій».

3. Зміст навчальної дисципліни

- 1) Класифікація і структура обладнання для газотермічного нанесення покриття (ГТНП)
- 2) Системи підготовки робочих газів
- 3) Системи подавання матеріалу в зону формування покриття
- 4) Системи енергоживлення розпилювачів

- 5) Системи взаємного переміщення виробу і розпилювача. Організація робочої зони
- 6) Системи вентиляції та фільтрації
- 7) Системи охолодження теплонапружених елементів установок
- 8) Розпилювальні пристрої для нанесення покриттів
- 9) Керування установками ГТНП. Автоматизація процесу напилення
- 10) Комплекси обладнання для ГТНП
- 11) Техніка безпеки та санітарне забезпечення процесів нанесення покриття

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Пащенко В.М. Обладнання для газотермічного нанесення покриттів. Навч.посібник.- К.: Політехніка, 2001.-416 с.

Навчальний посібник можна знайти в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

1. Додаткова література:

1. Пащенко В.М. Дугові генератори в технологіях інженерії поверхні. Монографія. – Харків: Мачулін, 2018. – 288 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В межах вивчення дисципліни впродовж семестру заплановано проведення лекційних, практичних та лабораторних занять, а також навчальним планом передбачено виконання МКР.

Під час вивчення матеріалу застосовуються як основні методи колективного та індивідуального активного навчання: проблемно-пошуковий, пояснювально-ілюстративний, репродуктивний, інтерактивний, практичний та дослідницький під час проведення лекційних та практичних занять, а також метод самостійної роботи. Означені методи використовуються в контексті застосування таких навчальних технологій:

1. Особистісно-орієнтовані технології, засновані на активних формах і методах навчання: колективні дискусії, інтерактивне спілкування тощо.
2. Інформаційно-комунікаційні технології, що забезпечують проблемно-дослідницький характер процесу навчання та активацію самостійної роботи студентів, доповнення традиційних навчальних занять засобами взаємодії на основі мережевих комунікаційних можливостей (онлайн-лекції, онлайн-практики під час змішаного або дистанційного навчання).

5.1. Лекційні заняття (12 год.)

Лекція 1. Класифікація та структура обладнання для ГТНП.

Основні поняття та термінологія дисципліни. Класифікація методів ГТНП та їх коротка характеристика. Загальна комплектація комплексів обладнання для різних методів ГТНП. Основне та допоміжне обладнання. Плазмоутворювальні гази. Горючі гази. Горючі гази заміники ацетилену. Системи підготовки робочих газів. Газорозподільчі пости (станції газоприготування). – 2 год.

Література: [1, стор.4 – 63]

Лекція 2. Системи подавання матеріалу, що утворює покриття. Системи енергоживлення розпилювачів.

Класифікація дозаторів-живильників. Порошкові дозатори-живильники безперервної дії. Дозатори-живильники періодичної дії. Механізми подавання дроту. Джерела живлення плазмотронів для нанесення покриттів. Стійкість горіння електричної дуги та вимоги до джерел живлення. Осциляторне підпалювання дуги. Захист елементів системи від високої напруги осцилятора. Джерела живлення електродугових розпилювачів. Вимоги до джерел. Зовнішні характеристики. Принципові схеми та принципи керування параметрами. -2 год

Література: [1 стор.64 – 171]

Лекція 3. Організація робочої зони ГТНП. Системи охолодження елементів конструкції установок ГТНП та виробів.

Схеми конструкцій та розміщення локальних вентиляційних пристроїв. Місцеві гнучкі витяжні системи. Захисні шафи, камери та бокси. Їх конструкція та комплектація. Системи вентиляції та фільтрації. Вентилятори, циклони, комбіновані механічно-електростатичні фільтри. Теплонапружені компоненти установок ГТНП. Примусове охолодження водою. Системи охолодження установок плазмового нанесення покриття. Відкриті та замкнені системи охолодження. Системи охолодження виробу в процесі нанесення покриття. Труба Ранка-Хілша- 2 год.

Література: [1 стор.184 – 209]

Лекція 4. Плазмові розпилювачі. Системи охолодження електродних вузлів плазмотронів.

Класифікація. Принцип дії. Основні принципові схеми. Основні процеси в дуговому каналі плазмотрона. Шунтування дуги. Аеродинаміка течії газу. Системи стабілізації дуги в дуговому каналі. Вихрова, магнітна стабілізація. «Холодні» та «гарячі» катоди. Принцип роботи. Термoeмісійні та термохімічні катоди. Катоди із самовідновленням. Ресурс електродів.. Пряме та посереднє охолодження. Схеми прямого та посереднього охолодження. Конструктивне виконання катодних вузлів. Схеми охолодження вузлів МEB та вихідних електродів. Схеми компановки систем охолодження плазмових розпилювачів – 2 год

Література: [1 стор.241 – 284]

Лекція 5. Електродугові розпилювачі.

Принцип дії. Схеми плавлення електродів-дротів. Особливості течії розпилювального газу. Типи соплових систем. Серійні конструкції електродугових розпилювачів. EM-14, EM-15, EM-12, EM-17. Конструктивні схеми Технічні характеристики. Дослідні і дослідно-промислові електродугові розпилювачі. – 2 год.

Література: [1 стор.318 – 340]

Газополуменеві розпилювачі. Детонаційно-газові розпилювачі.

Класифікація Вимоги до газополуменевих розпилювачів. Основні фізико-хімічні процеси в газополуменевих розпилювачах. Стадії горіння горючої суміші. Окиснювально-відновний потенціал продуктів згоряння. Структура струменя продуктів згоряння. Серійні та дослідно-промислові конструкції газополуменевих розпилювачів. Надзвукові газополуменеві розпилювачі. Основні фізико-хімічні процеси в детонаційних гарматах. Робочий цикл детонаційно-газових розпилювачів. Конструктивні схеми детонаційно-газових розпилювачів. Схеми подавання вихідного матеріалу. Дослідні та дослідно-промислові конструкції детонаційно-газових розпилювачів. – 2 год.

Література: [1 стор.340 – 375]

Лекція 6. Модульна контрольна робота - 2 год.

5.2 Практичні заняття (2 год.)

1. Методика розрахунку дугових плазмових розпилювачів лінійної схеми – 2 год.

5.3. Лабораторні заняття (4 год.)

1. Визначення вольт-амперних характеристик плазмотрона ПУН-1 – 2 год.
2. Визначення втрат в елементи конструкції плазмотрона ПУН-1 – 2 год.

6. Самостійна робота студента

Види самостійної роботи (132 год.):

- Підготовка до практичних занять, обробка і оформлення даних, отриманих при виконанні практичних занять – 2 години на кожне практичне заняття (всього – 2 год.).
- Підготовка до лабораторних робіт, обробка і оформлення даних, отриманих при їх виконанні – 2 години на кожну лабораторну роботу (всього – 4 год.).
- Підготовка до лекційних занять – 1 година на кожну лекцію (всього – 6 год.).
- Самостійне опанування лекційного матеріалу (всього – 87 год.).
- Підготовка до МКР – 3 год.
- Підготовка до екзамену – 30 год.

Назви тем для самостійного опрацювання та посилання на навчальну літературу

1. Системи взаємного переміщення виробу і розпилювача.

Маніпулятори на основі верстатів. Загальнопромислові та спеціалізовані маніпулятори. Маніпулятори з багатьма ступенями свободи. Спеціалізовані маніпулятори для колінчастих валів, відновлення опор підшипників, напилення тіл обертання та нанесення покриттів на листові вироби. **Література: [1 стор.176 – 184]**

2. Керування установками ГТНП.

Причини нестабільності процесу напилення. Конструкційні та технологічні збурення. Нестабільності першого, другого та третього порядків. Економічна доцільність механізації та автоматизації обладнання ГТНП. **Література: [1 стор.209 – 214]**

3. Автоматизація установок ГТНП.

Вимоги до автоматизованого обладнання, етапи його створення. Технічні засоби систем автоматичного керування. Датчики струму, напруги, тиску та витрати газів, вторинні вимірювальні перетворювачі. Автоматичний запуск установок та вихід на заданий режим. Стабілізація режиму роботи установок ГТНП. Приклади промислових автоматизованих систем. **Література: [1 стор.214 – 240]**

4. Системи введення плазмоутворювального газу та вихідного матеріалу.

Схеми подавання плазмоутворювального газу. Аксиальне, тангенціальне та аксіально-тангенціальне подавання газу. Приклади практичної реалізації схем. Вузли подавання матеріалу у плазмовий струмінь. Приклади практичної реалізації. Способи зменшення захолоджувальної дії транспортувального газу. **Література: [1 стор.284 – 290]**

5. Насадки.

Класифікація. Призначення. Принципові схеми. Приклади практичного виконання. Переваги та недоліки застосування. **Література: [1 стор.291 – 298]**

6. Серійні конструкції вітчизняних та закордонних плазмових розпилювачів.

Плазмотрони до установок УПУ, УМП, «Київ-7». Дослідні і дослідно-промислові конструкції. Плазмотрони фірм “Metco”, “Tafa”, “Plasmatechnik”. Принципи побудови. Технічні характеристики. Особливості конструкції. **Література: [1 стор.298 – 317]**

7. Конструкційні матеріали для виготовлення розпилювачів для ГТНП.

Вимоги до матеріалів для виготовлення плазмових розпилювачів. Вимоги до матеріалів для виготовлення електродугових розпилювачів. Вимоги до матеріалів для виготовлення газополумених розпилювачів. Марки матеріалів. Способи нерознімного з'єднання та присадкові матеріали. Ізоляційні матеріали для роботи в умовах нормальних та високих температур. **Література: [1 стор.375 – 378]**

8. Комплекси обладнання для плазмового нанесення покриття.

Установки серій УМП, УПУ, Київ-7. Комплектація. Схема побудови. Технічні характеристики. Установки фірм “Metco”, “Tafa”, “Plasmatechnik”,. Комплектація. Технічні характеристики. **Література: [1 стор.378 – 387]**

9. Комплекси обладнання для газополуменового та електродугового нанесення покриття

Установки газополуменового напилення серій УПТР, УГПТ, УГМ, Л5405, “MTS” Комплектація. Технічні характеристики. Потенційні можливості модернізації. Повнокомплектна установка електродугового напилення КДМ-2. **Література: [1 стор.388 – 401]**

10. Комплекси обладнання для детонаційно-газового нанесення покриття

Дослідно-промислові установки «Дніпро», ДПН. «Перун», «Прометей» та ін. Принципи побудови. Комплектація. Технічні характеристики. Спеціалізовані установки детонаційно-газового напилення. **Література: [1 стор.401 – 408]**

11. Техніка безпеки та санітарне забезпечення процесів ГТНП.

Шкідливі фактори, які супроводжують процеси ГТНП. Класифікація. Особливості прояву для різних методів ГТНП. Способи профілактики та захисту обслуговуючого персоналу та навколишнього середовища. Вимоги до устаткування і оснащення установок ГТНП. **Література: [1 стор.408 – 412]**

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Політика навчальної дисципліни «Обладнання для газотермічного нанесення покриття» є складовою частиною загальної політики в галузі якості КПІ імені Ігоря Сікорського і полягає у виконанні викладачем і студентами наступних принципів.

- ✓ Відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання (РГР). Для студентів, які беруть на себе відповідальність за організацію і планування свого часу для навчання, є можливість опанувати дисципліну у змішаному режимі: ознайомлення з теоретичним матеріалом і виконання практичних завдань – самостійно, за необхідності проведення консультацій викладачем згідно графіку консультацій і відведеного на них часу, у відповідності до педагогічного навантаження викладача. Лабораторні роботи виконуються у груповому режимі під керівництвом відповідального викладача.
- ✓ Студенти зобов'язані дотримуватись термінів виконання усіх видів робіт, передбачених курсом. Порушення термінів виконання певного виду робіт враховується згідно рейтингової системи оцінювання. Під час дії воєнного стану штрафні бали не нараховуються.

- ✓ На лекціях, лабораторних роботах та практичних заняттях обов'язковим є відключення телефонів. На заліку забороняється використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті.
- ✓ На лекціях, лабораторних та практичних заняттях студенти проявляють активність. На лекціях виникаючі питання задаються у відведений викладачем час. На практичних заняттях питання вирішуються у міру виникнення в діалоговій формі.
- ✓ Практичні заняття та лабораторні роботи повинні бути виконані і захищені до початку екзаменаційної сесії. Перездачі заліку допускаються не більше двох разів під час додаткової сесії.
- ✓ Якщо контрольні заходи пропущені з поважних причин, студенту надається можливість додатково скласти контрольне завдання протягом найближчого тижня. У разі порушення термінів виконання завдання з неповажних причин, студент не допускається до заліку в основну сесію.
- ✓ Академічна доброчесність є базовим принципом освітнього процесу і підлягає беззаперечному виконанню викладачем і студентами.
- ✓ Викладач є лідером і гарантом підготовки методичних матеріалів, навчання, контролю і поліпшення дисципліни на сучасному рівні з урахуванням вимог міжнародних стандартів з використанням кращої практики підприємств та університетів світу.

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

Поточний контроль проводиться за рішенням викладача в трьох формах: експрес-опитування по темі попередньої лекції на початку лекції, опитування за темою заняття на початку практичного заняття та лабораторної роботи, написання рефератів за темами, які винесені на самостійне вивчення.

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю та принцип оцінювання викладено в PCO освітнього компоненту.

Розрахунок рейтингових балів

Рейтингова система оцінювання та критерії нарахування вагових балів:

- Підготовка до лекцій оцінюється ваговим балом – 2. Максимальна кількість балів на всіх лекціях складає: $2 \text{ бали} \times 6 = 12 \text{ балів}$.
- Розв'язування задач на практичних заняттях оцінюється ваговим балом – від 1 до 4. Максимальна кількість балів за всі практичні заняття складає: $4 \text{ бали} \times 1 = 4 \text{ балів}$.
- Виконання лабораторних робіт та їх успішний захист оцінюється ваговим балом 2 бали: $2 \times 2 = 4 \text{ бали}$.
- Виконання МКР оцінюється ваговим балом від 1 до 7: $7 \text{ балів} \times 1 = 7 \text{ балів}$.
- Написання рефератів за темами, які винесені на самостійне вивчення від 1 до 3: $3 \times 11 = 33 \text{ бали}$

Таким чином стартовий рейтинг R_c становить: $R_c = 12 + 4 + 4 + 7 + 33 = 60 \text{ балів}$.

Розмір шкали рейтингу дисципліни: $RD = R_c + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів}$.

Де стартова шкала $R_c = 60 \text{ балів}$, екзаменаційна шкала $R_E = 40 \text{ балів}$.

Умови допуску до екзамену:

1. Відпрацьовані всі лабораторні роботи.
2. Відпрацьовані всі практичні завдання
3. Здана МКР
4. Здані всі реферати
5. Стартовий рейтинг $\geq 30 \text{ балів}$.

Критерії екзаменаційного оцінювання.

Екзаменаційний білет складається із трьох питань. Правильна відповідь на перше питання оцінюється у 10 балів. Відповіді на друге і третє дають по 5 балів відповідно.

Бали R_E за відповідь на екзамені розраховуються наступним чином: $R_E = (R_1 + R_2 + R_3) \cdot 2 = (10 + 5 + 5) \cdot 2 = 40$, де R_1 - бали за відповідь на перше питання, R_2 - бали за відповідь на друге питання, R_3 - бали за відповідь на третє питання.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за складання екзамену - 40 балів.

Шкала оцінювання другого та третього питань	Шкала оцінювання першого питання
$R_{2,3}=0$ - відповідь відсутня	$R_1=0$ - відповідь відсутня
$R_{2,3}=1$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання	$R_1=2$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання
$R_{2,3}=2$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання	$R_1=4$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання
$R_{2,3}=3$ - неповна відповідь	$R_1=6$ - неповна відповідь
$R_{2,3}=4$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності	$R_1=8$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності
$R_{2,3}=5$ - відповідь вірна і повна	$R_1=10$ - відповідь вірна і повна

Сума стартових балів та балів за екзамен переводиться у рейтингову оцінку згідно з таблицею:

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)

В умовах on-line лекційні, практичні заняття та екзамен проводяться з використанням Google Meet.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором, д.т.н., доц. Пащенко Валерієм Миколайовичем;

Ухвалено кафедрою зварювального виробництва (протокол №6 від 28.11.2022)

Погоджено Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №5/22 від 12.12.2022)