



ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Прикладна механіка</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>денна, змішана, дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>І / весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 год/ 5 кредитів ЄКТС Лекції - 46 год.; практичні - 18 год.; лабораторні - 8 год.; СРС - 78 год</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / МКР</i>
Розклад занять	<i>згідно https://schedule.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Чорний Андрій Вячеславович, a.chornyj@kpi.ua Практичні та лабораторні: к.т.н., доцент, Чорний Андрій Вячеславович, a.chornyj@kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/u/6/c/NTk2MDIxMDgyMTc4</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна "Інноваційні методи інженерії поверхні" розроблена відповідно до освітньої програми підготовки магістра "Прикладна механіка". Вивчення дисципліни дозволяє на основі сукупності новітніх підходів, методів і способів інженерії поверхні, які забезпечуються сучасними засобами та матеріалами створювати нові технології виробництва з високими характеристиками якісних показників деталей та виробів з урахуванням експлуатаційних вимог.

Мета дисципліни - формування у студентів системи знань щодо інноваційних методів та технологій інженерії поверхні, набуття студентами умінь використовувати, впроваджувати та адаптувати до конкретних умов інноваційні технологічні процеси нанесення газотермічних покриттів та модифікації поверхні.

Предмет дисципліни – інноваційні методи та технології інженерії поверхні.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає підсилення та розвиток у студентів компетентностей, передбачених освітньо-науковою програмою «Прикладна механіка» другого (магістерського) рівня вищої освіти:

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК 6 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

Фахові компетентності (ФК):

ФК 1 Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

ФК 7 Здатність застосовувати фундаментальні та прикладні знання та вміння в галузі інноваційних технологій машинобудування.

Результати навчання дисципліни деталізують такі **програмні результати навчання, передбачені освітньо-науковою програмою «Прикладна механіка» другого (магістерського) рівня вищої освіти:**

Програмні результати навчання:

РН 1 Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.

РН 5 Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення.

РН 14 Застосовувати фундаментальні та прикладні знання та вміння в галузі інноваційних технологій машинобудування.

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

Для успішного засвоєння дисципліни «Інноваційні методи інженерії поверхні» студент повинен мати базові знання з дисципліни ПО 3 Інноваційні технології в машинобудуванні;

Основні положення цієї дисципліни використовуються для підготовки та виконання магістерських дисертацій за напрямом методи інженерії поверхні.

Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Загальна характеристика поверхні твердого тіла.

Розділ 2. Електро - фізична модель поверхневого шару.

Розділ 3. Методи інженерії поверхні.

Розділ 4. Модифікування поверхні.

Розділ 5. Легування поверхні.

Розділ 6. Матеріали для модифікованих шарів та покриттів.

3. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Інженерія поверхні: підручник / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – Київ, Наукова думка, 2007. –557 с.

2. Поверхневі фізико-хімічні процеси: навч. посіб / В.І. Копилов, І.В. Смирнов – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 284 с.

Додаткова література:

1. Фізико-хімічні основи інженерії поверхні: навч. Посібник. – К.: ВІПОЛ, 2005. – 372с.

4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1 Лекційні заняття

Розділ 1. Загальна характеристика поверхні твердого тіла.

1-й тиждень

Лекція 1 Фізична та хімічна неоднорідність. Склад і будова поверхні.

2-й тиждень

Лекція 2 Атомна структура поверхні. Поверхнева енергія і поверхневий натяг.

Лекція 3 Основні способи створення чистої поверхні.

Розділ 2. Електро – фізична модель поверхневого шару.

3-й тиждень

Лекція 4 Електрична модель поверхневого шару.

4-й тиждень

Лекція 5 Термодинамічний опис роботи виходу електронів із металів. Температурна залежність роботи виходу.

Лекція 6 Фізичні моделі опису роботи електронів.

5-й тиждень

Лекція 7 Контакт двох металів. Контактна різниця потенціалів. Вимірювання контактної різниці потенціалів.

Розділ 3. Методи інженерії поверхні.

6-й тиждень

Лекція 8 Основні поняття та визначення.

Лекція 9 Класифікація методів інженерії поверхні.

Розділ 4. Модифікування поверхні.

7-й тиждень

Лекція 10 Модифікування поверхні лазером.

8-й тиждень

Лекція 11 Модифікування поверхні електронним променем.

Лекція 12. Іонно-плазмове азотування (нітроцементация)

9-й тиждень

Лекція 13 Іонно-плазмова нітроцементация

10-й тиждень

Лекція 14 Іонная імплантация

Лекція 15 Обробка плазмою.

Розділ 5. Легування поверхні.

11-й тиждень

Лекція 16 Закономірності електроіскрового легування

Лекція 17 Формування і властивості покриттів.

11-й тиждень

Лекція 18. Дифузійне насичення.

Лекція 19. Структура і властивості покриттів.

Розділ 6. Матеріали для модифікованих шарів та покриттів.

12-й тиждень

Лекція 20. Зносостійкі матеріали, фрикційні і антифрикційні матеріали..

Лекція 21. Корозієстійкі матеріали.

13-й тиждень

Лекція 22 Жароміцні та термобар'єрні матеріали

14-й тиждень

Лекція 23 Некристалічні та квазікристалічні матеріали.

5.2 Лабораторні заняття

Лабораторна робота №1 (2 год.)

Дослідження процесу одержання порошоків металів розмелом в планетарному млині.

Лабораторна робота №2 (2год)

Дослідження методу плазмово – порошкового наплавлення.

Лабораторна робота №3 (2 год.)

Дослідження методу високочастотного іонно-плазмового азотування.

Лабораторна робота №4 (2 год.)

Дослідження методу комбінації плазмового напилення покриттів з іонним азотуванням.

5.3 Практичні заняття

Практичне заняття №1

Розрахунок поверхневої енергії твердих тіл.

Практичне заняття №2

Розрахунки параметрів дифузії в твердих тілах

Практичне заняття №3

Обґрунтування типу та технології нанесення композиційних покриттів

Практичне заняття №4

Оцінка умов взаємодії матеріалів і їх сумісності при формуванні композиційних покриттів

Практичне заняття №5

Розрахунок залишкових напружень газотермічних покриттів

Практичне заняття №6

Вибір способу нанесення композиційних покриттів

Практичне заняття №7

Визначення параметрів роботи вакуумної установки і вибір форвакуумного насоса

Практичне заняття №8

Визначення товщини покриття при магнетронній системі розпилення

Практичне заняття №9

Модульна контрольна робота

5. Самостійна робота студента

Види самостійної роботи:

6.1. Підготовка до лекцій, закріплення лекційного матеріалу – 1 година на кожну лекцію (всього $1 \times 23 = 23$)

6.2. Обробка і оформлення даних, отриманих при виконанні лабораторних робіт – 1 години

на кожну лабораторну роботу (всього $1 \times 4 = 4$ год.)

6.3. Підготовка до практичних занять, обробка і оформлення даних, отриманих при їх виконанні – 2 години на кожне заняття (всього $2 \times 8 = 16$ год.)

6.4. Підготовка до МКР – 5 год.

6.5. Підготовка до екзамену – 30 год.

Всього на СРС $23+4+16+5+30 = 78$ год

6.5 Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання

- Плазмова хіміко-термічна обробка.
- Плазмове зміцнення виробів після наплавлення.
- Обробка шляхом об'ємного термічного загартування і плазмового зміцнення.
- Обробка струмами високої частоти (СВЧ) і плазмовим зміцненням.
- Плазмово-детонаційне зміцнення.
- Нанесення дискретних покриттів.

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вивчення навчальної дисципліни відбувається згідно графіку навчального процесу. Відвідування всіх видів занять рекомендовано для успішного засвоєння навчальних матеріалів.

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 лекцій і розв'язування практичних завдань – самостійно, за необхідності проведення консультацій викладачем згідно графіку консультацій і відведеного на них часу, у відповідності до педагогічного навантаження викладача.

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 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

Штрафні бали не передбачені.

Заохочувальні бали не нараховуються.

Пропущені контрольні заходи:

Якщо контрольні заходи пропущені з поважних причин (хвороба або вагомі життєві обставини), студенту надається можливість додатково скласти контрольне завдання протягом найближчого тижня. В разі порушення термінів і невиконання завдання з неповажних причин, студент не допускається до складання заліку в основну сесію.

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)

PCO з дисципліни складається з двох складових:

- ✓ стартової – призначена для оцінювання заходів поточного контролю впродовж семестру;
- ✓ екзаменаційної – призначена для оцінювання окремих запитань (завдань) на екзамені.

Стартова складова PCO включає:

- ✓ контроль на лекціях - відповіді на контрольні питання;
- ✓ контроль на практичних заняттях - складається з контролю та оцінюванню виконання практичного заняття;
 - ✓ контроль на лабораторних роботах - складається з контролю, оцінювання виконання та захисту лабораторної роботи;
 - ✓ модульна контрольна робота;

1. Лекції

Оцінюється самостійна робота студента, яка полягає у відповіді на контрольні питання.

Ваговий бал – 0,5 за вірну відповідь на питання.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за відповіді на контрольні питання до всіх лекцій: $0,5 \times 23 = 11,5$ балів.

2. Практичні заняття

Ваговий бал – 1,5

Максимальна кількість балів, які можна отримати за відпрацювання і захист всіх практичних занять (8 занять): $1,5 \times 8 = 12$ балів

3. Лабораторні роботи

Ваговий бал – 1,5

Максимальна кількість балів, які можна отримати за відпрацювання і захист всіх лабораторних робіт (4 роботи): $4 \times 1,5 = 6$ балів.

Захист лабораторної роботи оцінюється в 1 бал, який нараховується за правильні відповіді на питання, поставлені під час захисту роботи студентом.

4. Модульна контрольна робота

Проводиться наприкінці семестру на останньому практичному занятті, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Ваговий бал – 20,5. Максимальна кількість балів складає: $20,5 \text{ бали} \times 1 = 20,5 \text{ бали}$.

Варіант модульної контрольної робота складається з 3 завдань: 2 теоретичні питання і 1 практичне завдання.

Правильна відповідь на кожне теоретичне питання оцінюється в 6 балів, за правильне вирішення практичного завдання нараховується 8,5 балів.

Бали R_m за відповідь на МКР розраховується у такий спосіб:

$$R_m = R_1 + R_2 + R_3 = 6 + 6 + 8,5 = 20,5$$

де R_1 - бали за відповідь на перше теоретичне питання, R_2 - бали за відповідь на друге теоретичне питання, R_3 - бали за вирішення практичного завдання (табл. 1).

Шкали оцінювання відповіді на питання модульної контрольної роботи

Шкала оцінювання теоретичних питань	Шкала оцінювання вирішення практичного завдання
$R_1(R_2) = 0$ - відповідь відсутня	$R_3 = 0$ - завдання не вирішено
$R_1(R_2) = 2$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання	$R_3 = 1-2$ - наведено алгоритм розв'язання завдання, але рішення немає
$R_1(R_2) = 3$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання	$R_3 = 3-7$ - наведені рішення завдання, але є помилки
$R_1(R_2) = 4$ - неповна відповідь	
$R_1(R_2) = 5$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності	$R_3 = 8-8.5$ – завдання вирішено правильно
$R_1(R_2) = 6$ - відповідь вірна і повна	

Екзаменаційна складова PCO

Умовою допуску до екзамену є виконання повного комплексу практичних занять, лабораторних робіт та модульної контрольної роботи.

Екзаменаційний білет складається з 2 теоретичних питань і 1 практичного завдання. Правильна відповідь на кожне теоретичне питання оцінюється в 15 балів, за правильне вирішення практичного завдання нараховується 20 балів.

Бали R_e за відповідь на іспиті розраховується у такий спосіб:

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 = 15 + 15 + 20 = 50$$

де R_1 - бали за відповідь на перше теоретичне питання, R_2 - бали за відповідь на друге теоретичне питання, R_3 - бали за вирішення практичного завдання (табл. 2).

Таблиця 2

Шкали оцінювання відповіді на питання співбесіди семестрового контролю

Шкала оцінювання теоретичних питань	Шкала оцінювання вирішення практичного завдання
$R_1(R_2) = 0$ - відповідь відсутня	$R_3 = 0$ - завдання не вирішено
$R_1(R_2) = 1-3$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання	$R_3 = 3-8$ - наведено алгоритм розв'язання завдання, але рішення немає
$R_1(R_2) = 4-6$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання	$R_3 = 9-14$ - наведені рішення завдання, але є помилки
$R_1(R_2) = 7-9$ - неповна відповідь	
$R_1(R_2) = 10-12$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності	$R_3 = 15-20$ – завдання вирішено правильно
$R_1(R_2) = 13-15$ - відповідь вірна і повна	

До екзаменаційної відомості заносяться сума стартової та екзаменаційної складової PCO (табл. 3), а також оцінка за університетською шкалою (табл. 4).

Таблиця 3

Розрахунок сумарного семестрового рейтингу

Складові семестрового рейтингу R_c	Кількість занять у семестрі	Вагові бали за контрольні заходи	Сума вагових балів за контрольні заходи
Стартова складова PCO			
Контроль на лекціях	23	0,5	11,5
Контроль на практичних заняттях	8	1,5	12
Контроль на лабораторних роботах	4	1.5	6
Модульна контрольна робота	1	20,5	20,5
Стартова складова			50
Екзаменаційна складова PCO			50
РАЗОМ:			100

Таблиця 4

Відповідність 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)

У процесі **дистанційного** навчання використовуються дистанційний курс, реалізація якого здійснюється за допомогою платформи *Google classroom*, через які надається доступ до електронних ресурсів здобувачам вищої освіти.

В умовах **on-line** лекційні заняття, практичні заняття, лабораторні та екзамен проводяться з використанням платформи Zoom, GoogleMeet.

Під час **змішаного навчання** засвоєння знань, умінь, навичок відбуваються за допомогою аудиторних лекційних, лабораторних та практичних занять з використанням електронних освітніх ресурсів системи управління навчанням для методичного та інформаційного забезпечення здобувачів.

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (екзамен)

1. Що таке поверхневі явища?
2. Які процеси відносяться до поверхневих явищ?
3. В чому полягає поняття і визначення поверхні твердого тіла?.
4. Основна відмінність поверхневих шарів від об'ємних.
5. У чому полягає суть фізичної неоднорідності поверхні?
6. У чому полягає суть хімічної неоднорідності поверхні?
7. Які положення можуть займати атоми на поверхні?
8. Однакові чи ні числа сусідів атома та енергії зв'язку в різних поверхневих станах?
9. Що являють собою сходинки на поверхні?
10. Суть особливостей поверхневих перекручувань.
11. Що таке поверхневий шар?
12. Що таке зміщені і перебудовані поверхні?
13. Суть згущення поверхневої енергії.
14. Поняття поверхневої енергії, її розмірність.
15. Поняття поверхневого натягу.
16. Які параметри впливають на величину поверхневого натягу?
17. Що таке повна енергія кристала?
18. Які існують способи одержання чистої поверхні?
19. Які ефекти пов'язані з видаленням електронів з поверхні твердого тіла?.
20. В чому суть електричної моделі поверхневого шару?
21. Як пояснити існування подвійного електричного шару на поверхні твердого тіла?
22. Що таке сили електричного зображення, що діють на електрони?
23. Що таке робота виходу електронів з металу?
24. Що таке емісія електронів, і як змінюється густина електронів на поверхні металу?
25. У чому суть температурної залежності роботи виходу?
26. Який зв'язок між поверхневим натягом і роботою виходу електронів?
27. Що відбувається на поверхні двох металів при їх зближенні?
28. Що називається контактною різницею потенціалів?
29. Як вимірюється контактна різниця потенціалів?
30. Які основні напрямки інженерії поверхні, їх суть?
31. За якими ознаками класифіковано методи інженерії поверхні?
32. У чому полягає суть механічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
33. У чому полягає суть термомеханічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
34. У чому полягає суть термічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
35. У чому полягає суть хіміко-термічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
36. У чому полягає суть електрохімічних і хімічних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
37. У чому полягає суть фізичних методів обробки (створення) поверхневих шарів?
38. У чому полягає фізична суть лазерного випромінювання?
39. Які особливості поглинання і передавання енергії при лазерному випромінюванні?
40. У чому полягає суть лазерного зміцнення?
41. Які основні закономірності визначають глибину загартування при лазерному зміцненні?
42. Охарактеризуйте основні види лазерного зміцнення?
43. Які шари розрізняють залежно від мікроструктури і мікротвердості, а також при зміцненні поверхні?
44. Наведіть приклади властивостей зміцнених матеріалів?
45. У чому полягає суть лазерного легування матеріалів?
46. У чому полягає суть модифікування поверхні електронним променем?
47. Які особливості передавання і поглинання енергії при дії електронного променя?

48. Охарактеризуйте основні схеми електронно-променевого модифікування поверхні?
49. У чому полягає суть іонної імплантації?
50. Які особливості передавання і поглинання енергії при іонній імплантації?
51. Що є спільним. І чим розрізняються передавання і поглинання енергії при іонній імплантації, дії електронного променя і лазерному випромінюванні?
52. Які основні технологічні варіанти плазмового зміцнення?
53. Які основні закономірності структурних перетворень при плазмовому зміцненні?
54. Охарактеризуйте основні комбіновані способи зміцнення з використанням плазми?
55. У чому полягає суть електроіскрового легування поверхні?
56. Охарактеризуйте основні схеми утворення легованого шару при електроіскровому легування поверхні.
57. Чим визначається електроерозійна стійкість матеріалів у процесі електроіскрового легування поверхні?
58. Які особливості формування покриттів при електроіскровому легуванні поверхні та їх властивості?

Приклади варіантів завдань на МКР

Варіант № 1

1. Що таке поверхневі явища?
2. Які особливості формування покриттів при електроіскровому легуванні поверхні та їх властивості?
3. На основі заданої деталі, з урахуванням її призначення, умов експлуатації, виду зношення, матеріалу, визначити інноваційний метод зміцнення (відновлення), накреслити структуру поверхневого шару та/або покриття, що будуть отримані, описати технологічний процес інноваційного методу (деталь, матеріал деталі та умови експлуатації надаються індивідуально).

Варіант № 2

1. Які процеси відносяться до поверхневих явищ?
2. Чим визначається електроерозійна стійкість матеріалів у процесі електроіскрового легування поверхні?
3. На основі заданої деталі, з урахуванням її призначення, умов експлуатації, виду зношення, матеріалу, визначити інноваційний метод зміцнення (відновлення), накреслити структуру поверхневого шару та/або покриття, що будуть отримані, описати технологічний процес інноваційного методу (деталь, матеріал деталі та умови експлуатації надаються індивідуально).

Варіант № 3

1. В чому полягає поняття і визначення поверхні твердого тіла?
2. Охарактеризуйте основні схеми утворення легованого шару при електроіскровому легування поверхні.
3. На основі заданої деталі, з урахуванням її призначення, умов експлуатації, виду зношення, матеріалу, визначити інноваційний метод зміцнення (відновлення), накреслити структуру поверхневого шару та/або покриття, що будуть отримані, описати технологічний процес інноваційного методу (деталь, матеріал деталі та умови експлуатації надаються індивідуально).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: доцентом, к.т.н., доцентом Чорним Андрієм Вячеславовичем

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)