

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра теоретичної механіки, машинознавства
та роботомеханічних систем (№202)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник проектної групи

Широкий Ю.В.

(підпис)

(ініціали та прізвище)

«29» серпня 2025 р.

СИЛАБУС ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізико-технічні питання комбінованих іонно-плазмових технологій

(назва навчальної дисципліни)

Вибірковий блок: Вибіркові компоненти за темою дисертаційної роботи (перелік 2)
(назва вибіркового блоку)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальності: 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальностей)

Освітні програми: «Матеріалознавство»
(найменування освітніх програм)

Рівень вищої освіти: *третій (освітньо-науковий)*

Силабус введено в дію з 01.09.2025

Харків – 2025 р.

Розробник: Широкий Ю.В., професор кафедри теоретичної механіки,
машинознавства та роботомеханічних систем, к.т.н., доцент
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь, і вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри теоретичної
механіки, машинознавства та роботомеханічних систем
(назва кафедри)

Протокол № 10 від «26» червня 2025 р.

Завідувач кафедри професор, д.т.н.
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Олег БАРАНОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

Аспірант 132-202-2 групи


(підпис)

Євген ФЕСЕНКО
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

1. Загальна інформація про викладача



ПІБ: Широкий Юрій Вячеславович

Посада: професор кафедри 202

Науковий ступінь: к.т.н.

Вчене звання: доцент

Перелік дисциплін, які викладає:

- Наукові інженерні розробки та інтелектуальна власність;
- Конструювання промислових роботів;
- Конструювання устаткувань для автоматизованого виробництва.

Напрями наукових досліджень:

Автоматизація технологічних процесів та робототехніка; технології оброблення поверхонь деталей; плазмові, іонно-плазмові та лазерні технології, технології отримання наноструктур.

Контактна інформація:

+38(057) 788-42-22

+38(073) 002-50-98

i.shyrokyi@khai.edu

2. Опис навчальної дисципліни

Форма здобуття освіти	Денна
Семестр	3
Мова викладання	Українська
Тип дисципліни	Вибіркова
Обсяг дисципліни: кредити ЄКТС/ кількість годин	<u>денна</u> : 5 кредитів ЄКТС / 150 годин (32 аудиторних, з яких: лекції – 32; СРЗ – 118);
Види навчальної діяльності	Лекції, практичні (семінарські) та самостійна робота
Види контролю	Поточний контроль, модульний контроль, семестровий контроль – екзамен
Пререквізити	Знання з дисциплін: «ІТ в практиці наукових досліджень», «Основи методології наукових досліджень»
Кореквізити	Всі дисципліни з набуття професійних інженерних компетентностей
Постреквізити	Написання наукової роботи

3. Мета та завдання навчальної дисципліни, переліки компетентностей та очікуваних результатів навчання

Мета – засвоєння основних положень щодо процесів взаємодії плазми та поверхонь, застосування на практиці знань технологічних процесів плазмово-іонної технології.

Завдання – вивчення основних технологічних процесів комбінованих плазмово-іонної методів обробки поверхонь .

Компетентності, які набуваються:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері матеріалознавства, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

Загальні компетентності (ЗК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

До абстрактного мислення, аналізу та синтезу, до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, працювати в міжнародному контексті, розробляти проекти та управляти ними.

Спеціальні компетентності

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

Виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у галузі матеріалознавства та дотичних до нього міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з матеріалознавства та суміжних галузей. Усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та іноземною мовами, глибоке розуміння іншомовних наукових текстів за напрямом досліджень. Застосовувати сучасні інформаційні технології, та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності. Виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру, обґрунтовано здійснювати вибір технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів і виробів для конкретних умов експлуатації, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень. Ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в сфері матеріалознавства та дотичні до нього міждисциплінарні проекти, з метою їх представлення на міжнародних конференціях, симпозіумах. Дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній

діяльності. Здатність до формування системного наукового світогляду, професійної етики та загального культурного кругозору. Прототипування нових ідей і розв'язання комплексних проблем наукового пізнання, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів педагогічної та наукової діяльності в матеріалознавстві та інших технічних науках.

Програмні результати навчання:

Мати передові концептуальні та методологічні знання з технічних наук і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідної галузі, отримання нових знань та/або здійснення інновацій. Уміти вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми технічної науки державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях. Уміти формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень) і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані. Уміти розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у технічній науці та дотичних міждисциплінарних напрямках. Уміти планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з технічних наук та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми. Уміти застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи. Має розуміти загальні принципи та методи технічних наук, а також методологію наукових досліджень, застосовувати їх у власних дослідженнях у сфері технічних наук та у викладацькій практиці. Здійснювати пошук та критичний аналіз інформації, концептуалізацію та реалізацію наукових проєктів з технічних наук. Знати сучасні підходи та засоби моделювання досліджуваних об'єктів та процесів управління, в тому числі в аерокосмічній галузі, вміти створювати нові, вдосконалювати та розвивати методи математичного і комп'ютерного моделювання складних систем, оптимізації та прийняття рішень

4. Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовний модуль 1. Інтелектуальна власність

Тема 1. Вступ до курсу.

Вакуумно-дугові технології – загальні відомості. Історія розвитку вакуумно-дугових технологій.

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Тема 2. Основні фізичні процеси в установках для нанесення покриттів.

Отримання вакууму у вакуумно-дугових установках. Основні поняття фізики вакууму. Устаткування для одержання вакууму. Устаткування для вимірювання вакууму. Технологічні вакуумні установки. Будова покриттів. Елементи фізики твердого тіла. Типи кристалічних решіток. Їх параметри. Кристалографічні площини й індекси напрямків. Кристалографічні площини й індекси напрямків. Структурні особливості вакуумно-дугових покриттів на основі нітридів перехідних металів.

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Тема 3. Вакуумно-дуговий розряд.

Процеси на катоді. Властивості й характеристики катодної плями. Електронно-магнітна модель катодної плями. Ерозія катода і коефіцієнт ерозії. Процеси у міжелектродному просторі. Іони, електрони, атоми і макрочастинки матеріалу катода. Про другий механізм генерації іонів у плазмі вакуумної дуги. Процеси на підкладці. Взаємодія іонів матеріалу катода з поверхнею підкладки. Мікродугові розряди і боротьба з ними. Процеси на аноді.

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Тема 4. Вакуумно-дугові плазмові джерела.

Основні вимоги до вакуумно-дугових випарників і шляхи їх виконання. Конструкції вакуумно-дугових випарників. Системи запалювання вакуумно-дугового розряду. Випарники з ізольованим екраном. Випарники з магнітним утриманням катодної плями. Випарники з фокусуванням плазмового потоку. Комбіновані випарники. Планарні вакуумно-дугові випарники. Випарники зі щільними катодами. Протяжні випарники з радіальними потоками плазми. Протяжні випарники з біжучим електричним полем. Випарники з арковими магнітними полями.

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Тема 5. Плазмові фільтри.

Взаємодія макрочастинок з поверхнею. Проходження плазми через криволінійний плазмовід. Конструкції магнітних плазмових фільтрів.

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Модульний контроль 1

Змістовний модуль 2. Вакуумно-дугові покритті та комбіноване оброблення поверхонь

Тема 6. Вакуумно-дугові розряди.

Двоступеневий вакуумно-дуговий розряд (ДВДР). Стиснутий вакуумно-дуговий розряд (СВДР). Особливості електродугового прискорювача електронів. Основні параметри прискорювача електронів. Застосування СВДР у вакуумно-плазмових технологіях. Застосування стиснутого розряду для нанесення покриттів іонним розпиленням.

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Тема 7. Вакуумно-дугові покриття.

Покриття на основі титану: покриття TiN, покриття TiCN, Покриття TiAlN, Покриття TiMo(SN). Нітриди молібдену. Властивості вакуумно-дугових покриттів на основі молібдену. Вплив азоту, активованого в газовому розряді, Вплив активних металів. Вплив магнітного поля. Трибологічні властивості нітридів молібдену. Покриття Mo(SN).

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Тема 8. Комбіноване оброблення поверхонь.

Нанесення вакуумно-дугових покриттів на попередньо азотовані сталі. Огляд моделей азотування. Азотування сталі у тліючому розряді. Азотування в плазмі двоступеневого розряду. Нанесення покриттів на поверхню азотованої сталі. Збільшення глибини шару азотування.

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Тема 9. Наноструктурні покриття.

Подрібнення зерен іонним бомбардуванням. Наночарові композиційні покриття. Наноконпозиційні покриття. Покриття типу нк-MeN/метал. Наноконпозитні покриття типу Me/тверда фаза. Надтверді покриття, отримані із застосуванням іонної імплантації. Покриття TiN та TiN-CrN. Високоентропійні покриття.

Форма занять: лекція, практичні заняття, самостійна робота.

Самостійна робота здобувача освіти: опрацювання матеріалу лекцій, підготовка до модульних контрольних робіт тощо.

Модульний контроль 2

5. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом

6. Методи навчання

Словесні, наочні, практичні.

7. Методи контролю

Поточний контроль (теоретичне опитування), модульний контроль (тестування за розділами курсу) та підсумковий (семестровий) контроль (залік).

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Таблиця 8.1 – Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...3	8	0...24
Модульний контроль	0...26	1	0...26
Змістовний модуль 2			
Виконання та захист практичних робіт	0...3	8	0...24
Модульний контроль	0...26	1	0...26
Всього за семестр			60...100

Семестровий контроль (екзамен) проводиться у разі відмови здобувача освіти від балів підсумкового контролю й за наявності допуску до екзамену. Під час складання семестрового екзамену здобувач освіти має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для екзамену складається з двох теоретичних запитань та максимальну кількість балів за кожне запитання (сума – 100 балів).

Таблиця 8.3 – Шкали оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційний залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

Критерії оцінювання роботи здобувача освіти протягом семестру
Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Виконати більшість завдання. Мати уяву про поширеність плазми у природі та загальний обрис її використання в техніці, основні етапи розвитку вакуумної техніки.; вміти знімати вольт-амперна характеристики електричного розряду між електродами; мати уяву про методи генерації плазми, тліючий розряд полий катод, катодне розпилення, дуговий розряд, стаціонарний магнетронний розряд.

Добре (75 - 89). Твердо знати мінімум знань, виконати всі завдання. Знати все про поширеність плазми у природі та загальний обрис її використання в техніці, основні етапи розвитку вакуумної техніки.; вміти знімати вольт-амперна характеристики електричного розряду між електродами; мати уяву про методи генерації плазми, тліючий розряд полий катод, катодне розпилення, дуговий розряд, стаціонарний магнетронний розряд, конструкції магнетронів, конструкції вакуумних дугових джерел плазми.

Відмінно (90 - 100). Повно знати основній та додатковий матеріал. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Знати все про поширеність плазми у природі та загальний обрис її використання в техніці, основні етапи розвитку вакуумної техніки.; вміти знімати вольт-амперна характеристики електричного розряду між електродами; мати уяву про методи генерації плазми, тліючий розряд полий катод, катодне розпилення, дуговий розряд, стаціонарний магнетронний розряд, конструкції магнетронів, конструкції вакуумних дугових джерел плазми, етапи формування зміцнюючих шарів, утворення хімічних з'єднань, радіаційно-стимульовану дифузію.

9. Політика навчального курсу

Відвідування занять. Регуляція пропусків. Інтерактивний характер курсу передбачає обов'язкове відвідування практичних занять. Здобувачі освіти, які за певних обставин не можуть відвідувати практичні заняття регулярно, повинні протягом тижня узгодити із викладачем графік

індивідуального відпрацювання пропущених занять. Окремі пропущені заняття мають бути відпрацьовані на найближчій консультації протягом тижня після їх пропуску. Відпрацювання занять здійснюється усно у формі співбесіди за питаннями, визначеними планом заняття. В окремих випадках дозволяється письмове відпрацювання пропущених занять шляхом виконання індивідуального письмового завдання.

Дотримання вимог академічної доброчесності здобувачами освіти під час вивчення навчальної дисципліни. Під час вивчення навчальної дисципліни здобувачі освіти мають дотримуватися загальноприйнятих морально-етичних норм і правил поведінки, вимог академічної доброчесності, передбачених Положенням про академічну доброчесність Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/assets/files/polozhennya/polozhennya-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf>). Очікується, що роботи здобувачів освіти будуть їх оригінальними дослідженнями або міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших здобувачів освіти становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі здобувача освіти є підставою для її не зарахування викладачем незалежно від масштабів плагіату чи обману.

Вирішення конфліктів. Порядок і процедури врегулювання конфліктів, пов'язаних із корупційними діями, зіткненням інтересів, різними формами дискримінації, сексуальними домаганнями, міжособистісними стосунками та іншими ситуаціями, що можуть виникнути під час навчання, а також правила етичної поведінки регламентуються Кодексом етичної поведінки в Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/ua/university/normativna-baza/ustanovchi-dokumenti/kodeks-etichnoi-povedinki/>).

10. Методичне забезпечення

1. Технологія машинобудування. Основи отримання вакуумно-дугових покриттів // Андреев А.О., Павленко В.М., Сисоев Ю.О. Харків Видавництво: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т" : – 2018, – 288 с.

2. Технологія машинобудування. Забезпечення ефективності процесів отримання вакуумно-дугових покриттів : монографія / Ю. О. Сисоев. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 320 с.

3. Курс у системі дистанційного навчання Ментор:

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=9366>

11. Рекомендована література

Базова

1. Anders, A. The evolution of ion charge states in cathodic vacuum arc plasmas: a review / A. Anders // Plasma Sources Science and Technology. – 2012. – №21 (3). – P.458. DOI: <https://10.1088/0963-0252/21/3/035014>
2. Запалювання вакуумно-дугового розряду в джерелах плазми нетрадиційними методами / Ю.О. Сисоєв, Ю.В. Широкий, А.Ю. Сисоєв //Авіаційно-космічно техніка та технологія, 2022. – № 4. – С.35-34 DOI: <https://doi.org/10.32620/aktt.2022.4.04>
3. Nanotechnology: theory, experiment, technology, perspective. /Kostyuk, G.I. // Ed. center Int. academies of sciences and innov. Technologies. p. 648 (2012).
4. System for measurement the product surface Temperature for vacuum-arc coatings [Text]/ Iurii Sysoiev, Yurii Shyrokyi, Kseniia Fesenko // Problems of Atomic Science and Technology (PAST). 2025. №2(156), p. 171-176. ISSN 1562-6016. <https://doi.org/10.46813/2025-156-171>
5. Pulsed vacuum-arc plasma source with laser arc excitation. [Text]/ Iurii Sysoiev, Yurii Shyrokyi, Kseniia Fesenko. // Problems of Atomic Science and Technology (PAST), 2024, № 1 (149), pp. 110-115. <https://doi.org/10.46813/2024-149-110>

Допоміжна

1. Beilis, I.I. Thin Film Deposition by Plasma Beam of a Vacuum Arc with Refractory Anodes. / I. I. Beilis, R. Boxman, A. Pogrebnjak, V. Novosad // In: Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. – 2019. – P. 1-15.
2. Barengolts, S. A. Effect of the Nanostructured Layer Thickness on the Dynamics of Cathode Spots on Tungsten, / S. A. Barengolts, V. G. Mesyats, M. M. Tsventoukh, S. Kajita, D. Hwangbo and N. Ohno // in IEEE Transactions on Plasma Science. – 2018. – №46 (11). – P. 4044–4050
3. Beilis, I. Electrode Erosion. Macroparticle Generation. In: Plasma and Spot Phenomena in Electrical Arcs / I. Beilis //Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics. – 2020. – № 113. – Springer, Cham.
4. Beilis, I. I. Cu film deposition using a vacuum arc with a black-body electrode assembly / I. I. Beilis, Y. Koulik, R. L. Boxman // Surface and Coatings Technology. – 2014. – № 258. – P. 908–912.

12. Інформаційні ресурси

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1138>
<https://education.khai.edu/department/202>
<https://k202.tilda.ws/>