



Національна академія наук України  
Інститут проблем матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича



**Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни  
ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ  
SURFACE ENGINEERING AND PROTECTIVE COATINGS**

**Реквізити навчальної дисципліни**

<b>Рівень вищої освіти</b>	<i>третій (освітньо-науковий)</i>
<b>Галузь знань</b>	<i>13 Механічна інженерія</i>
<b>Спеціальність</b>	<i>132 Матеріалознавство</i>
<b>Освітня програма</b>	<i>Порошкова металургія та композиційні матеріали</i>
<b>Статус дисципліни</b>	<i>Вибіркова</i>
<b>Форма навчання</b>	<i>денна (очна), он-лайн/офф-лайн</i>
<b>Рік підготовки, семестр</b>	<i>2 курс навчання, осінній семестр</i>
<b>Обсяг дисципліни</b>	<i>3 кредити ECTS, 90 годин</i>
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	<i>залік</i>
<b>Розклад занять</b>	<i>лекція – раз на тиждень (32 години); практика/семінар/консультації – 1 раз на два тижні (16 годин); самостійна робота 42год., у тому числі на виконання індивідуальних/домашніх завдань 20 год, залік – 1 год</i>
<b>Мова викладання</b>	<i>українська</i>
<b>Інформація про викладачів</b>	<i>д-р техн. наук, проф. Уманський Олександр Павлович <a href="mailto:o.umanskyi@ipms.kyiv.ua">o.umanskyi@ipms.kyiv.ua</a> д-р техн. наук, доцент Стороженко Марина Сергіївна <a href="mailto:m.storozhenko@ipms.kyiv.ua">m.storozhenko@ipms.kyiv.ua</a></i>
<b>Розміщення курсу</b>	<i>Google Classroom; доступ за запрошенням викладача</i>

**Програма навчальної дисципліни**

**1. Опис освітньої компоненти, її мета, предмет вивчання та результати навчання**

*Метою курсу "Інженерія поверхні та захисні покриття" є отримання та структурування теоретичних знань про властивості поверхневих шарів, сучасні матеріали та технології для нанесення захисних покриттів; набуття практичних навичок по вибору технологій нанесення та матеріалів для отримання покриттів, які*

володіють заданим комплексом експлуатаційних властивостей та забезпечують подовження ресурсу машин. Застосування технологій зміцнення та відновлення деталей машин розглядатиметься на конкретних промислових прикладах.

**Предмет освітньої компоненти** - сучасні матеріали: їх структура та властивості, технологічні процеси їх отримання.

**Метою освітньої компоненти** є формування у здобувачів вищої освіти (з.в.о.) рівня PhD компетентностей:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі матеріалознавства, проводити дослідно-інноваційну діяльність, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до освоєння і системного аналізу через наукове сприйняття і критичне осмислення нових знань.

ЗК02. Здатність до критичного аналізу і креативного синтезу нових ідей.

ЗК03. Здатність до розв'язування складних завдань, розуміння відповідальності за результат роботи з урахуванням вимог до академічної та професійної доброчесності.

ЗК04. Здатність до оприлюднення наукових результатів перед академічною аудиторією та громадськістю як на національному, так і на міжнародному рівні.

ЗК5. Здатність до самовдосконалення, адаптації та дії в нових ситуаціях, креативність.

ЗК06. Здатність оцінювати соціальну значимість результатів своєї діяльності, сприймати та використовувати в своїй роботі нові знання та технології, усвідомлювати принципи відкритої науки.

ЗК07. Розуміння необхідності дотримання етичних норм та авторського права при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

ЗК10. Здатність до представлення та обговорення результатів своєї наукової роботи в усній та письмовій формі іноземною мовою, а також розуміння іншомовних наукових текстів зі спеціальності.

Фахові компетентності:

ФК02. Здатність застосовувати новітні підходи до аналізу інформації і застосування її для створення новітніх матеріалів та підвищення ефективності сучасних виробничих процесів.

ФК03. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі матеріалознавства з урахуванням міжгалузевих зв'язків для забезпечення потреб у високоефективних матеріалах, енерго- та ресурсозберігаючих технологіях.

ФК05. Спроможність спілкуватись в галузі матеріалознавства в діалоговому режимі в різномовному середовищі для ефективного публічного представлення і захисту отриманих наукових результатів, на вітчизняних та міжнародних наукових форумах, конференціях і семінарах.

ФК08. Здатність до постійного самовдосконалення у професійній сфері, відповідальність за навчання інших при проведенні науково-педагогічної діяльності та наукових досліджень в галузі матеріалознавства.

ФК09. Здатність до аналізу результатів сучасних досліджень в області матеріалознавства металевих, керамічних, композиційних та нано- матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем і генерації нових знань.

*ФК10. Здатність до генерації нових ідей, самостійного планування та здійснення наукової діяльності, адаптації та впровадження інноваційних технологій з урахуванням експлуатаційних вимог.*

**Програмні результати навчання.** Після засвоєння освітньої компоненти аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

*РН01. Проявляти наукові погляди та підходи при проведенні експертного аналізу наукових даних, оцінювати вплив технологічних факторів на властивості матеріалів.*

*РН02. Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі матеріалознавства та бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.*

*РН03. Інтегрувати існуючі методики та методи досліджень та адаптувати їх для розв'язання наукових завдань при проведенні дисертаційних досліджень.*

*РН04. Встановлювати закономірності управління складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення на основі фізико-хімічних процесів у матеріалах, з метою створення матеріалів із заданими структурами та характеристиками.*

*РН05. Встановити закономірності та вивчити особливості поведінки матеріальних об'єктів шляхом використання фундаментальних принципів фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання, а також застосування методів теоретичного й експериментального аналізу структури та властивостей матеріалів.*

*РН07. Визначатись з факторами та критеріями, які необхідно враховувати при експертизі науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт та проектів в галузі матеріалознавства враховуючи технологічний, економічний, соціальний ефект та вплив на стан довкілля.*

*РН09. Застосовувати у науковій та практичній діяльності провідні тенденції, ключові напрями та перспективи розробки нових матеріалів різної природи, основи сучасних технологій виготовлення конструкційних і функціональних матеріалів, «розумних» та біо-матеріалів, матеріалів спеціального (оборонного) призначення, з подовженим строком експлуатації та для відновлюваних джерел енергії.*

*РН11. Використовувати сучасні інформаційні джерела національного та міжнародного рівня для оцінки стану вивченості об'єкту досліджень і актуальності наукової проблеми.*

*РН12. Демонструвати навички роботи з сучасним обладнанням при проведенні експериментальних досліджень з матеріалознавства.*

*РН13 Володіти комунікативними навичками на рівні вільного спілкування в іншомовному середовищі з фахівцями та нефахівцями щодо проблем в галузі матеріалознавства.*

*РН14. Вміти доступно, на високому науковому рівні доносити сучасні наукові знання та результати досліджень до фахової та нефахової аудиторії.*

## **2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою**

*Перелік освітніх компонент, знань та умінь, володіння якими необхідні аспіранту для успішного засвоєння освітньої компоненти:*

### **Пререквізити:**

**Матеріалознавство**

*Основи матеріалознавства як міждисциплінарної галузі науки, що вивчає залежність між складом, структурою та*

	<i>властивостями матеріалів у взаємозв'язку з технологією їх отримання, умовами експлуатації та вартістю.</i>
<i>Методологія наукових досліджень</i>	<i>Вміння планувати експеримент, аналізувати отримані результати, обговорювати та презентувати результати досліджень з колегами</i>
<b><i>Постреквізити:</i></b>	
<i>Наукова складова</i>	<i>Планування і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та методик дослідження, критичний аналіз результатів досліджень.</i>

## **1. Зміст навчальної дисципліни**

### **Тема 1. Вступ до інженерії поверхні та захисних покриттів.**

- Роль інженерії поверхні в забезпеченні ресурсу машин та механізмів.
- Розробка покриттів з заданим комплексом експлуатаційних властивостей.
- Загальні відомості про поверхню твердих тіл та її якість.

### **Тема 2. Тертя та зношування матеріалів**

- Визначення і природа тертя. Види тертя. Закони тертя ковзання.
- Процеси зношування в машинах та механізмах.
- Методи визначення зносу поверхонь.
- Методи дослідження триботехнічних властивостей матеріалів.
- Механізми зношування: механічне, адгезивний та механо-хімічний, фретинг-корозія.
- Методи вивчення механізмів зношування.

### **Тема 3. Корозія та воднева деградація матеріалів.**

- Види корозійних пошкоджень матеріалів.
- Фактори, що впливають на корозійне пошкодження поверхонь.
- Окислення матеріалів при високих температурах.
- Воднева деградація матеріалів.
- Вивчення корозійної стійкості матеріалів.

### **Тема 4. Захисні покриття**

- Основні поняття та визначення.
- Класифікація покриттів за призначенням, методами нанесення та матеріалами.
- Технологічні властивості покриттів: адгезія і когезія, товщина, пористість.
- Вивчення структури та фазового складу покриттів.
- Механічні, хімічні та теплові властивості покриттів.

### **Тема 5. Дифузійні покриття**

- Дифузія в твердих середовищах.
- Хіміко-термічна обробка поверхневого шару матеріалів.
- Переваги та недоліки дифузійних покриттів.

### **Тема 6. Електрохімічні методи осадження покриттів**

- Процес електрохімічного осадження.
- Технологія нанесення гальванічних металевих покриттів.
- Гальванічні металеві покриття: цинкові, нікелеві, хромові, мідні.
- Технологія нанесення композиційних електрохімічних покриттів
- Переваги та недоліки гальванічних покриттів.

### **Тема 7. Фізичні методи осадження покриттів**

- Магнетронні розпилювальні системи.
- Вакуумно-дугове осадження.

- Плазмохімічне осадження.
- Застосування іонно-плазмових покриттів у сучасній техніці.

#### **Тема 8. Наплавлення покриттів**

- Основні види наплавлення.
- Особливості технології наплавлення.
- Матеріали для наплавлення.
- Области застосування наплавлення для зміцнення та відновлення деталей машин.

#### **Тема 9. Газотермічні методи нанесення покриттів**

- Класифікація газотермічних методів нанесення покриттів
- Плазмове напилення покриттів.
- Детонаційне напилення.
- HVOF-напилення покриттів.
- Холодне газодинамічне напилення покриттів.
- Матеріали для газотермічного напилення покриттів.
- Застосування газотермічних покриттів в промисловості.

#### **Тема 10. Лазерні та електроіскрові покриття**

- Технологія нанесення лазерних покриттів.
- Особливості структури та властивості лазерних покриттів.
- Процес електроіскрового легування поверхонь.
- Структура та властивості електроіскрових покриттів.

#### **Тема 11. Застосування покриттів в авіа- та ракетобудуванні**

- Зносостійкі покриття.
- Жаростійкі покриття.
- Ущільнювальні покриття.
- Термобарерні покриття.

#### **Тема 12. Інноваційний розвиток технологій нанесення покриттів**

- Огляд ринку газотермічних покриттів.
- Сучасні напрямки досліджень та інноваційні розробки в інженерії поверхні.
- Роль інженерії поверхні в забезпеченні сталого розвитку.

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

#### **Базова література:**

1. Інженерія поверхні: Підручник / Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. – Київ: Наукова думка, 2007. – 559 с
2. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с.
3. Holmberg K., Matthews A. *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Application in Surface Engineering*. Swizereland : Elsevir (2nd ed.), 2009. 560 p.
4. Cartier M., Polak T. A., Wilcox G. D. *Handbook of Surface Treatments and Coatings*. New-York : ASME Press, 2003. P. 412.
5. Pavlowski L. *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*. Chichester : John Willey & Sons, 2008. 626 p.

#### **Додаткова література:**

1. Fangli Yu, Jianjiang Tang, Haihong Zhang, Long Zhang, Kuo Zhang. *The improvement of wear and corrosion resistance of nickel-graphite coating with modified graphite phase size*. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Vol. 485. 130906. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130906>.

2. Cynthia Sin Ting Chang, Marcus Wyss, Michal Andrzejewski, Geoffrey Darut, Lukas Graf, Vladimir Novak, Margie Olbinado, Susanne Erpel, Alexander Vogel, Simon Bode, Michael de Wild, Armando Salito. *Microstructures, phase and mechanical characterisation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> coating produced by atmospheric plasma spraying*. *Open Ceramics*. 2024. 100698. <https://doi.org/10.1016/j.oceram.2024.100698>.
3. Chenghong Wang, Hongxia Zhou, Senhui Liu, Chengxin Li, Changjiu Li. *Microstructure and corrosion resistance of novel rare-earth-zirconia doped Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plasma-sprayed coating*. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Vol. 494, Part 1. 131261. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.131261>.
4. De-Hui Ji, Hui Zhuang, Qiang Hu, Hai-long Yao, You-liang Zhang, Hui Guo, Huo-ping Zhao, Ming-xue Shen. *Effect of abrasive particle size on the tribological behavior of thermal sprayed WC-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni coatings*. *Journal of Alloys and Compounds*. 2022. Vol. 924. 166536. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.166536>.
5. E. Szajna, G. Moskal, M. Tupaj, J. Dresner, A. Dudek, K. Szymański, A. Tomaszewska, A. Trzcionka-Szajna, M. Mikuśkiewicz, K. Łysiak. *The influence of laser remelting on microstructural changes and hardness level of flame-sprayed NiCrBSi coatings with tungsten carbide addition*. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Vol. 478. 130403. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130403>.
6. Leandro J. da Silva, Cristiano J. Scheuer, Ana Sofia C.M. D'Oliveira. *Effect of microstructure on wear performance of NiCrSiBC coatings*. *Wear*. 2019. Vol. 428–429. P. 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.04.005>.
7. Kirsten Bobzin, Christian Kalscheuer, Max Philip Möbius, Parisa Hassanzadegan Aghdam. *Thermal stability of thick α- and γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings deposited by high-speed PVD*. *Surface and Coatings Technology*. 2024. Volume 477. 130411. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130411>.
8. Niklas Hellgren, Igor Zhirkov, Mauricio A. Sortica, Andrejs Petruhins, Grzegorz Greczynski, Lars Hultman, Johanna Rosen. *High-power impulse magnetron sputter deposition of TiB<sub>x</sub> thin films: Effects of pulse length and peak current density*. 2024. *Vacuum*. Vol. 222. 113070. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2024.113070>.
9. Rong-Zhi Li, Cong-Qian Cheng, Ji-Bin Pu, Xiao-Hua Min, Tie-Shan Cao, Jie Zhao. *Effect of CrN coating on the hot salt corrosion fatigue behavior of titanium alloy*. *Corrosion Science*. 2024. Volume 240. 112448. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2024.112448>.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Передбачено комплексний підхід, що поєднує лекції та практичні заняття. При читанні лекцій застосовується ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені в Google Classroom. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої. Метою практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення освітньої компоненти.

## **6. Самостійна робота**

Самостійна робота включає повторення лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, що дозволяє розширити та поглибити знання з дисципліни, підготовку до практичних завдань та заліку.

## **Політика та контроль**

### **7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

Відвідування лекційних та семінарських занять, які можуть проводитись як он-лайн, так і офф-лайн, є обов'язковим. У випадку відсутності на занятті аспіранти зобов'язані повідомити викладача заздалегідь і надати документальне підтвердження причини відсутності, якщо це можливо. На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості.

Правила призначення заохочувальних балів. Заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Але їх сума не може перевищувати 25% від рейтингової шкали.

Політика дедлайнів та перескладань. Дедлайни здачі завдань є обов'язковими. У разі поважних причин, аспіранти можуть звернутись до викладача для можливої зміни продовження термінів. Запити на продовження дедлайну повинні бути подані заздалегідь.

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

В рамках навчальної дисципліни передбачено кілька видів контролю та систему рейтингування результатів навчання, а саме:

Поточний контроль: опитування під час лекцій та на практичних заняттях.

Семестровий контроль: залік.

Рейтингова система оцінювання формується з суми балів, набраних під час поточного та семестрового контролю. Рейтинг аспіранта  $R$  розраховується за 100 бальною шкалою та складається з балів, що він отримує протягом семестру (стартовий рейтинг)  $S$  та диференційованого заліку  $C$ . Таким чином, сумарний рейтинговий бал розраховується як:

$$R=S + C$$

Стартовий рейтинг  $S$  складається з балів, які аспірант отримує за відвідування занять (1 бал), активну роботу на занятті (2 бали), правильну відповідь при поточному опитуванні (2 бали), виконання творчого завдання (5 балів). Максимальна сума балів, яку аспірант може набрати протягом семестру (стартовий рейтинг), складає 80 балів. Умовою допуску до заліку є кількість рейтингових балів не менше 50.

Залік проходить в усній формі (за матеріалами лекцій та практичних занять). Метою контролю є перевірка рівня засвоєння матеріалу, здобутих навиків та компетентностей, здатності використання студентом отриманих знань для подальшого навчання. Максимальна кількість отриманих за залікову роботу балів становить 20.

Відповідність між кількістю балів, оцінкою за національною шкалою та шкалою ECTS наведена в таблиці.

<b>Кількість балів</b>	<b>Шкала ECTS</b>	<b>Оцінка за національною шкалою</b>
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
65-74	D	
60-64	E	Задовільно
Менше 60	FX	Незадовільно
Не виконані умови допуску		Не допущено

## **9. Додаткова інформація з освітньої компоненти**

*Робочу програму освітньої компоненти (силабус):*

*Складено д-ром техн. наук, доц. Стороженко М.С. та д-ром техн. наук, проф. Уманський О.П.*

*Ухвалено Вченою радою Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України (протокол №10 від «06» серпня 2024 р.).*