



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



**Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни**  
**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРОШКОВОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**  
**ТА НОВІТНІ КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ**  
**MODERN TECHNOLOGIES OF POWDER MATERIALS SCIENCE AND THE**  
**NOVEL CERAMIC MATERIALS**

**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 - Powder metallurgy and composite materials</i>
<b>Статус дисципліни</b>	<i>обов'язкова</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>екзамен</i>
<b>Розклад занять</b>	<i>лекція – 20 годин; практика/семінар/консультації – 16 годин; самостійна робота 54 год., у тому числі на виконання індивідуальних/домашніх завдань 20 год, екзамен– 1 год</i>
<b>Мова викладання</b>	<i>українська</i>
<b>Інформація про викладачів</b>	<i>чл.-кор. НАН України, старш. наук. співр., заст. директора ІПМ НАН України, Згалат-Лозинський Остап Броніславович, 38(050)9868257; o.zgalatlozynskyi@ipms.kyiv.ua канд. техн. наук, зав. лаб., Литвин Роман Валерійович, 38(067)7754268; rovalit@ukr.net</i>
<b>Розміщення курсу</b>	<i>ZOOM; доступ за запрошенням викладача</i>

**Програма навчальної дисципліни**

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

*Навчальна дисципліни присвячена таким сучасним технологіям порошкової металургії як: адитивні технології, мікрохвильове та іскро-плазмове спікання, методам*

контрольованих процесів синтезу та консолідації з огляду на кінцеве структуро- та фазоутворення для отримання новітніх керамічних матеріалів для електроніки, енергетики, трибо – та електротехнічного призначення.

**Предмет освітньої компоненти** – сучасні технології синтезу та консолідації порошкових керамічних та композиційних матеріалів для отримання виробів різного функціонального призначення.

**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.

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

ЗК09. Здатність до самостійного освоєння нових технологій та методів дослідження.

**Фахові компетентності:**

ФК01. Здатність проводити інноваційну діяльність, що сприяє створенню нових знань у матеріалознавстві та суміжних міждисциплінарних галузях.

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.

ФК07. Соціальна відповідальність за результати прийняття стратегічних технічних рішень і впровадження нових технологій і матеріалів з огляду на їх вплив на навколишнє середовище.

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.

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

Після засвоєння освітньої компоненти аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

PH02. Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі матеріалознавства та бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.

PH03. Інтегрувати існуючі методики та методи досліджень та адаптувати їх для розв'язання наукових завдань при проведенні дисертаційних досліджень.

PH04. 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.

PH07. 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.

PH09. 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.

PH11. Використовувати сучасні інформаційні джерела національного та міжнародного рівня для оцінки стану вивченості об'єкту досліджень і актуальності наукової проблеми.

PH12. Демонструвати навички роботи з сучасним обладнанням при проведенні експериментальних досліджень з матеріалознавства.

PH18. Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та норми академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

## **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:

<b>Пререквізити:</b>	
Матеріалознавство	Основи матеріалознавства як міждисциплінарної галузі науки, що вивчає залежність між складом, структурою та властивостями матеріалів у взаємозв'язку з технологією їх отримання, умовами експлуатації та вартістю.
Керамічні матеріали і методи їх синтезу та спікання	Загальні принципи та методи отримання, формування та спікання кераміки з огляду на кінцеві властивості виробу та області її застосування.
Науково-дослідна практика	Знання з технології та інженерії, а також дослідницькі навички, достатні для проведення досліджень з відповідного напрямку.
<b>Постреквізити:</b>	
Наукова складова	Планування і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та методик дослідження, критичний аналіз результатів досліджень.

## **3. Зміст освітньої компоненти**

### **Тема 1 «Вступ до адитивних технологій»**

Класифікація та загальна інформація по адитивним технологіям та матеріалам, що використовуються в 3Д друці, структури, що можуть бути отримані 3Д друком.

## **Тема 2. Адитивні технології для друку керамічних матеріалів**

ЗД друк керамічних матеріалів за технологіями фотополімеризація в ванні (Vat photopolymerization- VP), струменеве нанесення зв'язуючого (Binder jetting-BJ), плавлення порошкового шару (Powder bed fusion-PBF), екструзія матеріалу (Material extrusion-ME)

## **Тема 3. Адитивні технології для друку композиційними матеріалами та металами**

ЗД друк струменеве нанесення матеріалу (Material jetting - MJ), плавлення порошкового шару (Powder bed fusion-PBF), екструзія матеріалу (Material extrusion-ME), нанесення спрямованою енергією (Directed energy deposition- DED), ламінування листів (Sheet lamination-SL)

## **Тема 4 Сучасні технології електроспінання композиційних матеріалів.**

Сучасні методи спікання активованого електричним струмом та тиском. Композиційні матеріали які консолідують іскро-плазмовим спіканням. Перспективні напрямки розвитку технологій електроспінання.

## **Тема 5 Мікрохвильова термообробка**

Мікрохвильові технології для термохімічної обробки порошкових матеріалів та проведення збагачення руд в матеріалознавстві, вибір матеріалів для мікрохвильової термообробки, особливості компоновки композиційних матеріалів для мікрохвильового спікання.

## **Тема 6 Мікрохвильове спікання**

Мікрохвильові технологій в матеріалознавстві, вибір матеріалів для мікрохвильової термообробки, особливості компоновки композиційних матеріалів для мікрохвильового спікання.

## **Тема 7 Матеріали для роботи в екстремальних умовах та з подовженим строком експлуатації**

Застосування сучасних методів інженерії структури та синтез нових композиційних матеріалів для роботи в умовах впливу високих температур, тиску, опромінення чи агресивного середовища. Розробка композиційних матеріалів, що характеризуються довгостроковою стійкістю в умовах повсякденної експлуатації та застосування сучасних технологій порошкового матеріалознавства для їх створення.

## **Тема 8 «Розумні матеріали» та методи їх отримання методами порошкової металургії**

Застосування сучасних методів синтезу та консолідації порошкових матеріалів для отримання структур з комбінації матеріалів різноманітних класів (металів, кераміки, полімерів, біоматеріалів), що відносяться до «розумних матеріалів (smart materials) які мають здатність реагувати на зміну стану довкілля зміною своїх функціональних характеристик.

## **Тема 9 Тенденції та розвиток галузі порошкових покриттів**

Газотермічні методи нанесення захисних покриттів (плазмовий, газополуменевий, детонаційний). Електроіскрове осадження порошкових електродних матеріалів. Новітні методи порошкових покриттів – адитивні технології, лазерне осадження металів (LMD).

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

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці інституту, а також може бути надана в електронному вигляді. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні.

#### **Базова література:**

- Згалат-Лозинський, О. Б. (2024). Сучасні технології 3D-друку, мікрохвильової обробки та іскро-плазмового спікання для виготовлення виробів із композиційних матеріалів на основі тугоплавких сполук: За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 6 березня 2024 року. *Visnik Nacional Noi Akademii Nauk Ukraini*, (5), 91–98. <https://doi.org/10.15407/visn2024.05.092>
- Zgalat-Lozynskyy, O.B. Materials and Techniques for 3D Printing in Ukraine (Overview). *Powder Metall Met Ceram* **61**, 398–413 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00327-y>
- Ragulya A.V., Zgalat-Lozynskyy O.B. Laser Sintering of Multilayer Gradient Materials. *Functional Gradient Materials and Surface Layers*, Springer, 2001.- p. 151–159.
- F. Calignano *et al.*, "Overview on Additive Manufacturing Technologies," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 4, pp. 593-612, April 2017, <https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2625098>
- Agrawal, D. (2006). Microwave Sintering of Ceramics, Composites and Metallic Materials, and Melting of Glasses. *Transactions of the Indian Ceramic Society*, *65*(3), 129–144. <https://doi.org/10.1080/0371750X.2006.11012292>
- Borrell, Amparo, and Maria Dolores Salvador. 2018. 'Advanced Ceramic Materials Sintered by Microwave Technology'. *Sintering Technology - Method and Application*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78831>
- D. Bubesh Kumar *et al* Review of Spark Plasma Sintering Process. 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 993 012004 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/993/1/012004>
- Sharma, N., Alam, S.N., Ray, B.C. (2019). Fundamentals of Spark Plasma Sintering (SPS): An Ideal Processing Technique for Fabrication of Metal Matrix Nanocomposites. In: Cavaliere, P. (eds) *Spark Plasma Sintering of Materials*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05327-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05327-7_2)
- Zgalat-Lozynskyy, O.B., Matviichuk, O.O., Litvyn, R.V. *et al.* Microwave Sintering of 3D Printed Composites from Polymers Reinforced with Titanium Nitride Particles. *Powder Metall Met Ceram* **62**, 164–173 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00380-7>
- Ostap Zgalat-Lozynskyy, I. Kud, L. Ieremenko, L. Krushynska, D. Zyatkevych, K. Grinkevych, O. Myslyvchenko, V. Danylenko, S. Sokhan, A. Ragulya, Synthesis and spark plasma sintering of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-ZrN self-healing composites, *Journal of the European Ceramic Society*, Volume 42, Issue 7, 2022, Pages 3192-3203, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.02.033>
- Mehran Ghasempour-Mouziraji, Joana Lagarinhos, Daniel Afonso, Ricardo Alves de Sousa. A review study on metal powder materials and processing parameters in Laser Metal Deposition, *Optics & Laser Technology*, Volume 170, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2023.110226>.

#### **Додаткова література:**

- Zgalat-Lozynskyy, O., Matviichuk, O., Tolochyn, O. *et al.* Polymer Materials Reinforced with Silicon Nitride Particles for 3D Printing. *Powder Metall Met Ceram*, 2021, № 59 .-p.515–527 <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00189-2>
- Ragulya A.V., Stetsenko V.P., Vereshchak V.M., Klimenko V.P., Skorokhod V.V. Selective laser sintering II. Sintering multilayer refractory composites. *Powder metallurgy and metal ceramics*, 1998, № 37, p. 577–582.
- Chen Z. *et al.* 3D printing of ceramics: A review // *Journal of the European Ceramic Society*, 2019, № 39, p.661–687.

- Myslyvchenko, O.M., Litvin, R.V. & Zgalat-Lozynskyy, O.B. Oxidation of the Irshansk Ilmenite Ore in Microwave Heating. *Powder Metall Met Ceram* **61**, 414–423 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11106-023-00328-x>
- Zgalat-Lozynskyy, O., Ragulya, A. Microwave Sintering of Chessboard-Structured TiN–Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Composites Reinforced by Nanofibers. *Powder Metall Met Ceram* **61**, 32–39 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11106-022-00292-y>
- Pavel Topală , Laurențiu Slătineanu , Oana Dodun , Margareta Coteață & Natalia Pinzaru (2010)/ Electrospark Deposition by Using Powder Materials, *Materials and Manufacturing Processes*, 25:9, 932-938, <http://dx.doi.org/10.1080/10426910903447238>

## Навчальний контент

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

*Передбачено комплексний підхід, що поєднує лекції та семінари, а також розгляд питань, що виносяться на самостійну роботу. 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 екзамену.*

## 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. Під час сигналу повітряної тривоги заняття негайно припиняється, а всі учасники навчального процесу повинні пройти в найближче укриття. Для завершення заняття організується додатковий час.*

*Правила призначення заохочувальних та штрафних 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. Штрафні бали в рамках освітньої програми не передбачені.*

*Політика дедлайнів та перескладань. Дедлайни здачі завдань та контрольних робіт 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 семінарських заняттях.

Семестровий контроль: екзамен.

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  $C$ . Додаткові бали  $D$  можна отримати за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Таким чином, сумарний рейтинговий бал розраховується як

$$R=S + C + D$$

Стартовий рейтинг  $S$  складається з балів, що 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 50 балів. Умовою допуску до заліку є кількість рейтингових балів не менше 30.

На заліку аспіранти виконують письмову тестову роботу, що складається з 50 питань. Кожне запитання (завдання) оцінюється в 1 бал. Умовою успішної здачі заліку є кількість отриманих за залікову роботу балів не менше 30.

Сумарний рейтинговий бал розраховується за формулою:

$$R=S + C + D,$$

де  $S$  – стартовий рейтинг;

$C$  – залік;

$D$  – додаткові бали.

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

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

## 9. Додаткова інформація з освітньої компоненти

Робочу програму освітньої компоненти (силабус):

Складено заст. директора ІПМ НАН України, чл.-кор. НАН України Згалат-Лозинським О.Б. та зав. лаб., канд. техн. наук Литвин Р.В.

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