



## Фізика спікання

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	Матеріалознавство
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна (денна)/очна (вечірня)
Рік підготовки, семестр	2 курс, 3 (осінній) семестр
Обсяг дисципліни	4,0 кредити (120 год.) 13 лекц./ 26 практик. /81 СРС ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік/ МКР
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., професор, Степанчук Анатолій Миколайович mail: <a href="mailto:astepanchuk@iff.kpi.ua">astepanchuk@iff.kpi.ua</a> Практичні заняття: к.т.н., професор, Степанчук Анатолій Миколайович
Розміщення курсу	Googleclassroom

### Програма навчальної дисципліни

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

Одним з методів одержання матеріалів багатофункціонального призначення з властивостями не притаманними для матеріалів отримуваних традиційними методами литва та подальшої механічної обробки, в тому числі і композиційних, є методи, які базуються на технологічних засадах методів порошкової металургії. Основними етапами розробки матеріалів та виготовлення виробів з них є отримання вихідних порошків, які у подальшому формуються у вироби заданих розмірів та спікаються при температурах, нижчих за температуру плавлення основного компоненту. Основним етапом виготовлення таких виробів є операція спікання заготовок, від якої багато у чому залежать кінцеві властивості матеріалів та виробів з них. Змінюючи умови спікання можна у широких межах змінювати структуру та властивості матеріалів і, як наслідок, їх функціональні характеристики.

Тому **предметом** вивчення в дисципліні “Фізика спікання” є фундаментальні засади фізико-хімічних явищ, що лежать в основі процесів спікання під час створення матеріалів з застосуванням методів порошкової металургії, фізичні моделі процесів, кінетика процесів спікання та їх аналітичний опис з метою отримання матеріалів з наперед заданими властивостями та структурою.

**Предметом** вивчення є також фізико-хімічні основи вибору методу та технологічних параметрів спікання порошкових виробів, впливу хімічних і фізичних факторів на процеси спікання.

У зв'язку з цим основними завданнями дисципліни “Фізика спікання” є надання аспірантам фундаментальних знань, які б допомогли їм створювати фізичні моделі процесів, встановлювати кінетику процесів та проводити їх аналітичний опис з метою отримання матеріалів з наперед заданими властивостями та структурою на основі глибокого розуміння фізико-хімічних явищ, що лежать в основі створення матеріалів з застосуванням методів порошкової металургії.

Глибоке розуміння процесів спікання порошкових виробів базується на фундаментальних законах хімії, фізичної хімії, фізики, фізики конденсованого стану, термодинамічних та кінетичних засад створення матеріалів.

Дисципліна “Фізика спікання” дає аспіранту можливість у подальшому під час розробки нових матеріалів на базі глибокого знання фізико-хімії явищ і процесів створювати їх з заданим комплексом фізико-технічних властивостей. Дає можливість детально вивчити фізико-хімічні закономірності процесів спікання порошкових виробів, вплив різноманітних факторів на формування їх властивостей і технологію їх виготовлення.

Вивчення дисципліни базується на вивченні таких фундаментальних дисциплін як “Математика”, “Фізика”, “Фізичне матеріалознавство”, “Фізична хімія”, “Фізика конденсованого стану”, “Теоретична та прикладна механіка”, “Термодинаміка матеріалів”, “Кінетика процесів в матеріалах” та інших.

Вивчення дисципліни дає можливість аспіранту у подальшому під час проведення наукових досліджень з розробки нових матеріалів глибше оволодіти спеціальними технологічними прийомами виготовлення порошкових та композиційних матеріалів з метою отримання їх з заданими структурою та властивостями на базі створення фізичних та аналітичних моделей процесів.

**Метою** навчальної дисципліни є формування у аспірантів здатностей:

- Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у матеріалознавстві, дотичних та міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з матеріалознавства;
- Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, математичне й комп'ютерне моделювання матеріалознавчих задач;
- Здатність на основі фундаментальних та спеціальних знань проектувати та створювати нові матеріалізованого функціонального призначення;

а також розвиток загальних компетентностей, що полягають у:

- Здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу та оцінки сучасних наукових досягнень, генерування нових знань при вирішенні дослідницьких і практичних завдань;
- Здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, модернізації, конструювання та створення нових матеріалів, компонентів та процесів;
- Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, фізико-математичне, фізико-хімічне та комп'ютерне моделювання розроблюваних матеріалів та процесів з метою оптимізації їх властивостей;

– Здатність на основі фундаментальних та спеціальних знань проектувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

**знання:**

- Методології наукових досліджень у предметній області та сучасних методів планування та постановки експериментів;
- Методик аналізу та синтезу знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації;
- Підходів забезпечення оригінальності в розробці та застосуванні ідей в контексті наукового дослідження;
- Новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі матеріалознавства та суміжних сферах;
- Фізичних, хімічних та математичних принципів матеріалознавства;
- Сучасних методів теоретичного та експериментального дослідження структури та властивостей матеріалів;
- Закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення;
- Фундаментальних принципів фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання;
- Теоретичних засад створення нових композиційних матеріалів заданого функціонального призначення;
- Методології проведення наукових досліджень з метою створення нових композиційних матеріалів заданого функціонального призначення;
- Сучасних моделей для оцінювання рівня властивостей композиційних матеріалів.

**уміння:**

- Застосовувати аналіз та синтез знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації;
- Застосовувати знання наукових принципів матеріалознавства для модернізації та створення нових матеріалів та процесів.

З використанням цих умінь фахівець повинен уміти:

- За відомими методиками, з використанням сучасного аналітичного опису проводити розрахунки оптимальних режимів спікання порошкових виробів;
- Встановлювати та обґрунтувати механізм спікання порошкових композиційних матеріалів;
- Аналізувати вплив різноманітних параметрів на формування структури та властивостей порошкових виробів з точки зору сучасних уявлень про фізико-хімічні процеси, які їх супроводжують;
- Розробляти методики дослідження процесів спікання порошкових композиційних матеріалів, проведення процесів спікання.

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

Дисципліна викладається у третьому семестрі підготовки за освітньою-науковою програмою підготовки докторів філософії. Для успішного засвоєння дисципліни, аспірант повинен володіти набором компетентностей другого (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство.

Дисципліна забезпечує розширення наукового та практичного кругозору в галузі

матеріалознавства та інженерії матеріалів чим формує заключний набір компетенцій та інтегральну компетенцію. Результатививченнядисципліниможуть бути використані при розробці теоретичних та технологічних засад створення матеріалів з наперед заданими властивостями методами порошкової металургії та нанотехнологій.

Дисципліна “Фізика спікання” дає аспіранту можливість у подальшому під час розроки нових матеріалів на базі глибокого знання фізико-хімії явищ і процесів створювати їх з заданим комплексом фізико-технічних властивостей. Дає можливість детально вивчити фізико-хімічні закономірності процесів спікання виробів з порошкових та наноматеріалів, вплив різноманітних факторів на формування їх властивостей і технологію їх виготовлення.

### **3 Зміст навчальної дисципліни**

Розділ I. Спікання як фізико-хімічний процес

Тема 1. Спікання як кінетичний процес.

Тема 2. Спікання як дифузійний процес.

Тема 3. Спікання за механізмом пластичної течії.

Розділ II. Спікання як структуроутворюючий процес

Тема 4. Консолідація дисперсної системи у суцільне тіло.

Тема 5. Спікання як процес формування рівноважної пористої структури.

Тема 6. Вплив на структуроутворення під час спікання порошкових матеріалів гетеро дифузії та рекристалізації.

Розділ III. Спікання як технологічний процес

Тема 7. Фізико-хімічні засади вибору методу спікання порошкових виробів.

Тема 8. Фізико-хімічні засади застосування спікання з використанням зовнішнього впливу фізичних факторів.

Тема 9. Технологічні параметри спікання.

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

#### **4.1 Базова література**

1. Olevsky E.A Field-Assistend Sintering. Science and Applications / E.A.Olevsky, D.V.Dudina. – ChamSwitzerland. – 2018. –432 s.
2. Гегузин Я.Е. Физика спекания / Я.Е. Гегузин. – М.: Наука,1967. – 360 с.
3. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания / В.В. Скороход. – К. : Наук.думка, 1972. – 149 с.
4. Скороход В.В. Физико-металлургические основы спекания порошков / В.В. Скороход, С.М. Солонин. – М. : Металлургия, 1984. – 159 с.
5. Ковальченко М.С. Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давления / М.С. Ковальченко. – К. : Наук. Думка, 1980. – 240 с.
6. Самсонов Г.В. Высокотемпературные неметаллические термодпары и наконечники / Г.В. Самсонов, П.С. Кислый. – К. : Наук.думка, 1969. – 181 с.
7. Скороход В.В. Технология процессов формования и спекания порошковых

матеріалов. / В.В. Скороход, М.Б. Штерн. – К. : Знання, 1985.–19 с.

8. Кислый П.С. Спекание тугоплавких соединений / П.С. Кислый, М.А. Кузенкова, – К. : Наук.думка.1980.– 167 с.

9. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока /А.И. Райченко. – М. : Металлургия, 1987. – 184 с.

#### 4.2 Додаткова література

1. Сердюк Г. Г.Технология порошковой металлургии. Часть 3. Спекание и дополнительная обработка: учебное пособие / Г.Г. Сердюк, Л.И. Свистун. – Краснодар : Изд. ГО УВПО «КубГТУ», 2005. – 244 с.

2. Дорофеев Ю.Г. Динамическое горячее прессование пористых порошковых прессовок / Ю.Г. Дорофеев. – Москва : Металлургия, 1977. – 175 с.

Перераховані джерела є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського і можуть бути використані для отримання базових знань щодо фізики спікання.

### Навчальний контент

## 5 Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

### 5.1 Лекції

**Заняття 1.** Спікання як реологічний процес. Спікання як в'язка течія під дією капілярного тиску по Я.І. Френкелю.

Механізми деформації частинок порошку та їх взаємного переміщення, які визначаються їх ефективною в'язкістю. Дифузійно-в'язкий крип по Херрінгу. Локально-неоднорідна течія зернограничним проковзуванням по Ешбі-Веррелю. Дислокаційна течія під дією капілярних сил.

Феномонологічний опис процесу спікання як об'ємна в'язка течія по В.В.Скороходу.

**Заняття 2.** Спікання як дифузійний процес. Контактне припікання частинок за рахунок об'ємної дифузії вакансій, спікання за рахунок дифузійної коалесценції пор зумовленої градієнтом концентрації вакансій. Спікання за механізмом поверхневої дифузії та дифузійним перенесення через газову фазу. Фізична модель та аналітичний опис процесу спікання як об'ємної самодифузії по Б. Я. Пінесу.

**Заняття 3.** Спікання за механізмом пластичної течії. Аналітичний опис процесу спікання за Дж. Маккензі і Р. Шатлворса та Б. Ларсмахера і З. Шольца.

Фізична модель та аналітичний опис процесу спікання гарячим пресуванням як пластичної течії по М. С. Ковальченку під час ущільнення в прес-формах, гарячому штампуванні та гарячій прокатці порошкових матеріалів.

Спікання як квазіхімічна кінетика. Аналітичний опис процесу спікання для випадку об'ємного ущільнення по Івенсену. Аналітичний опис процесу ущільнення при спіканні по Коблу, який базується на дифузійній теорії. Аналітичний опис процесу спікання по Тіканену.

**Заняття 4,5.** Модульна контрольна робота. Консолідація дисперсної системи у суцільне тіло. Рушійна сила консолидації – зменшення вільної енергії за рахунок зникнення міжчастинкової поверхні та приповерхневої гомогенізації. Трансформація межі між частинками у міжзеренну і формування фізико-механічних властивостей порошкового тіла за рахунок утворення на міжчастинкових контактах іонно-електронних зв'язків.

Взаємозв'язок і загальні процеси утворення контактів між частинками порошків при спіканні вільно насипаних порошків і пресовок з них. Дифузійне заліковування квазидвовірних несутільностей на межі контакту між частинками у пресовках.

**Заняття 6,7.** Вплив на структуроутворення під час спікання порошкових матеріалів гетеро дифузії та рекристалізації.

Вирівнювання хімічних потенціалів як рушійна сила утворення рівноважних твердих розчинів, сполукта рівноважної зеренної структури, які зумовлюють формування спеченого матеріалу з заданими фізико-механічними властивостями.

Вплив міжфазної поверхні та коефіцієнта об'ємної гетеродифузії на швидкість утворення твердих розчинів та сполук.

Вплив процесів гетеро дифузії на процеси уповільнення та прискорення спікання. Вплив рекристалізації на процеси спікання. Механізм уповільнення процесів спікання при наявності рекристалізації. Вплив збільшення розміру зерен при рекристалізації на процеси спікання.

**Заняття 8,9.** Технологічні параметри спікання. Вплив компонентного складу та агрегатного стану складових порошкового матеріалу на вибір різновиду спікання.

Твердофазне спікання. Спікання однокомпонентних матеріалів. Спікання багатокомпонентних систем, які складаються з розчинних один в одному компонент, обмежено розчинних та нерозчинних один в одному. Зв'язок вибору технологічних режимів спікання багатокомпонентних матеріалів з будовою діаграм стану, які утворюють його складові – з евтектикою, перитектикою, з хімічними сполуками.

Спікання у присутності рідкої фази. Фізико-хімічна сутність різновидів спікання у присутності рідкої фази. Спікання при наявності рідкої фази яка залишається до кінця спікання та зникає під час спікання.

Температура спікання. Низькотемпературне, високотемпературне, ізотермічне, неізотермічне, циклічне спікання, їх фізико-хімічна сутність.

Середовище спікання. Спікання у відновлювальному, окиснювальному, інертному та активному (ХТО) середовищі, у вакуумі. Вплив середовища спікання на формування заданих властивостей порошкового матеріалу.

## 5.2. Практичні заняття

Ціль практичних занять: Вивчення закономірностей процесів спікання порошкових виробів з матеріалів, які розробляються відповідно до теми дисертації аспіранта.

**Практичні заняття № 1** – Аналітичний опис процесу спікання як об'ємно в'язкої течії. (4 год.)

**Практичні заняття № 2** – Аналітичний опис процесу спікання як об'ємної самодифузії. (4 год.)

**Практичні заняття № 3** – Визначення оптимальних умов спікання матеріалів згідно теми дисертації з допомогою аналітичного опису процесу спікання як в'язкої течії та об'ємної самодифузії. (4 год.)

**Практичні заняття № 4** – Аналітичний опис процесів спікання як пластичної течії. (4 год.)

**Практичні заняття № 5** – Визначення оптимальних умов спікання матеріалів згідно теми дисертації з допомогою аналітичного опису процесу спікання як пластичної течії. (6 год.)

**Практичні заняття № 6** – Визначення умов отримання порошкових композиційних матеріалів з заданими властивостями просоченням. (4 год.)

### 5.3 Самостійна робота аспіранта

- Самостійна робота аспірантів (загальна тривалість 96 год. з дисципліни) полягає в:
- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для фокусування результатів аналізу на взаємозв'язок їх з результатами власних наукових досліджень, що відповідають на пряму дисертаційної роботи (28 год.);
  - підготовці до виконання завдань практичних робіт, аналізі одержаних результатів та формулюванні висновків (52 год.);
  - підготовці до МКР (6 годин).
  - підготовці до семестрової атестації – заліку (10 годин).

## Політика та контроль

### 6 Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед аспірантом:

- Тему пропущеного лекційного заняття аспірант повинен опрацювати самостійно шляхом написання конспекту;
- Завдання пропущеного практичного заняття аспірант повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час практичних занять дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних ресурсів, тощо.
- Результати виконаних практичних занять оформлюються у вигляді звітів з застосуванням текстового редактора. Звіт супроводжується формулами, графіками, копіями екрану – елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання програмного продукту та методик оптимального вибору для розв'язання реальних задач за тематикою власних наукових досліджень згідно теми дисертаційної роботи.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Конспект пропущеної лекції має бути виконаний і поданий на перевірку не пізніше 2-х тижнів з часу пропущеної лекції. Звіти з практичних занять виконуються і подаються на перевірку не пізніше 2-х тижнів з моменту завершення. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

## 7 Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

### 7.1 Види контролю

Поточний контроль:

- Захист звітів з практичних робіт;
- Модульна контрольна робота, яка проводиться на 7 тижні.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для позитивного першого календарного контролю аспірант повинен отримати позитивні оцінки за захист практичних робіт №1 і №2 та МКР. Для позитивного другого календарного контролю аспірант повин отримати позитивні оцінки за захист практичних робіт №3–№5.

Семестровий контроль: залік.

## 7.2 Критерії нарахування балів

За семестр з дисципліни аспірант може максимально отримати 100 балів.

Захист звітів з практичних робіт максимально складає 84 балів, відповідно:

- Виконання і захист роботи з глибоким розкриттям фізико-хімічної сутності процесів, що вивчались – 11–14 балів;
- Активне виконання роботи, опанування матеріалу – 7–10 балів;
- Виконання завдання практичної роботи – 3–6 балів;
- Відсутність на заняттях – 0 бал.
- 

Модульна контрольна робота оцінюється максимально у 16 балів, відповідно:

- Повна відповідь – 16–10 бали;
- Неповна відповідь – 9–3 бали;
- Незадовільна відповідь – 0 балів.
- 

Заохочувальні бали надаються додатково за такі види діяльності, як участь у конференціях з тематики дисципліни, модернізація методики проведення практичних занять – 4-6 балів.

Штрафні бали нараховуються за несвоєчасне виконання та захист завдань з практичних робіт – 4 бали.

Умовою допуску до семестрового контролю є семестровий рейтинг більше 60 балів за умови виконання усіх практичних робіт, МКР та кількості балів за видами:

- Захист звітів з практичних робіт не менше 50 балів;
- Модульна контрольна робота не менше 10 балів.

У випадку незгоди з семестровим рейтингом, здобувач має право здавати залікову контрольну роботу, проте при цьому його семестровий рейтинг анулюється.

Залікова контрольна робота проводиться у вигляді усного опитування і завдання включає 2 теоретичних питання з лекцій, на підготовку відповідей виділяється 2 академічні години. Відповідь на кожне з питань оцінюється у 50 балів за 100-бальною шкалою, відповідно:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями);



- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Оцінка за відповідь знижується – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 10-5 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів.

Аспіранти, які під час вивчення дисципліни розробили фізичну/математичну модель процесу спікання матеріалів згідно теми дисертації підтверджену експериментальними даними заохочуються 15 додатковими балами.

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

## 8 Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Під час вивчення дисципліни бажано використовувати інформаційні ресурси. Так за наведеними нижче посиланнями можна знайти журнали, що відносяться до галузі матеріалознавства.

- CeramicsInternational видавництво PergamonPressLtd. (UnitedKingdom)
- JournalofAlloysandCompounds, издательство Elsevier BV (Netherlands)Ніделанди
- MaterialsToday: Proceedings<http://www.materialstoday.com/proceedings>
- JournalofMaterialsResearchandTechnology //www.journals.elsevier.com/journal-of-materials-research-and-technology/editorial-board
- SurfaceandCoatingsTechnology //www.journals.elsevier.com/surface-and-coatings-technology
- MaterialsCharacterization //www.journals.elsevier.com/materials-characterization
- ComputationalMaterialsScience //www.journals.elsevier.com/computational-materials-science
- MaterialsScienceandEngineering //www.journals.elsevier.com/materials-science-and-engineering-a
- AppliedSurfaceScience //www.journals.elsevier.com/applied-surface-science
- InternationalJournalofRefractoryMetalsandHardMaterials  
//www.journals.elsevier.com/international-journal-of-refractory-metals-and-hard-materials
- JournalofSolidStateChemistry //www.journals.elsevier.com/journal-of-solid-state-chemistry.

2. Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути Perezархований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість

перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті".

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено:**

проф. каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, к.т.н., проф., Степанчук Анатолій Миколайович

**Ухвалено:**

кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії  
(протокол №9 від 14.02.25 р.)

**Погоджено:**

Методичною комісією НН Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є. О. Патона  
(протокол № 6/25 від 19.02.25 р.)