



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



**Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни**

**ТЕОРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ КОНСОЛІДАЦІЇ, СПІКАННЯ ПОРОШКОВИХ  
МАТЕРІАЛІВ ТА ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ  
THEORY AND TECHNOLOGY OF CONSOLIDATION, SINTERING OF  
POWDER MATERIALS AND PRESSURE PROCESSING OF 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</i>
<b>Статус дисципліни</b>	<i>дисципліна вільного вибору</i>
<b>Форма навчання</b>	<i>денна (очна), он-лайн/офф-лайн</i>
<b>Рік підготовки, семестр</b>	<i>2 курс навчання, весняний 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); самостійна робота 58 год., 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>канд. техн. наук, старш. наук. співр. Толочин Олександр Іванович, канд. техн. наук Кузьмов Андрій Васильович</i>
<b>Розміщення курсу</b>	<i>Google Drive; доступ за запрошенням викладача</i>

**Програма навчальної дисципліни**

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

*Навчальна дисципліни присвячена теоретичним засадам отримання матеріалів та виробів шляхом консолідації дисперсних порошкових сумішей, перш за все металів і кераміки. Причому будуть розглядатися різні процеси консолідації порошку, - як*

двостадійний підхід шляхом створення проміжної формовки з порошку з подальшим її спіканням, так і одностадійне гаряче пресування.

**Предмет освітньої компоненти** - існуючі технології консолідації порошкових матеріалів, в першу чергу методи отримання формовок з порошків металів і кераміки шляхом пресування, а також процес кінцевої консолідації таких формовок шляхом спікання чи гарячої деформації, і пошук методів їх удосконалення з метою оптимізації технологічного процесу та контролю структури і властивостей кінцевих виробів.

**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.

ЗК05. Здатність до самовдосконалення, адаптації та дії в нових ситуаціях, креативність.

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

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.

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

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:

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.

PH05. 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.

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.

PH14. Вміти доступно, на високому науковому рівні доносити сучасні наукові знання та результати досліджень до фахової та нефахової аудиторії.

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

PH19. Знайти оригінальне рішення, направлене на розв'язання конкретної науково-технічної проблеми.

## 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.
Технологія обробки металів тиском	Уявлення про обробку тиском виробів з металів як процес незворотної пластичної течії. Уміння користуватись комп'ютерними програмними засобами для моделювання процесів обробки тиском.
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 та коригування параметрів технологічних процесів відповідно до наявних матеріалів та обладнання з використанням сучасних методів комп'ютерного моделювання

### **3. Зміст освітньої компоненти**

**Тема 1. Методи спікання порошкових та керамічних матеріалів:** рідкофазне спікання та його застосування; твердофазне спікання – механізми та застосування.

**Тема 2. Передові технологічні процеси консолідації порошкових та композиційних матеріалів високим тиском:** штампування порошкових виробів (високоточне, секційне, ротаційне, ізотермічне, високошвидкісне, з використанням ефекту надпластичності матеріалу, тощо); прокатування порошків (симетричне, асиметричне); обладнання та технологічна оснастка для холодного, теплого та гарячого компактування порошків.

**Тема 3. Структурна інженерія конструкційних матеріалів з використанням інтенсивних пластичних деформацій (ІПД):** методи інтенсивної пластичної деформації матеріалів (РКУП, прокатування із зсувом, волочіння із зсувом, твіст-екструзія, тощо); об'ємно-наноструктуровані конструкційні матеріали (структура та механічні властивості матеріалів після ІПД).

**Тема 4. Консолідація металічних порошків та кераміки мікрохвильовим спіканням:** принцип методу та процес мікрохвильового нагріву; діелектричні властивості матеріалів та абсорбція мікрохвильової енергії; приклади обробки матеріалів НВЧ.

**Тема 5. Іскроплазмове спікання (Spark Plasma Sintering) порошкових матеріалів:** принципи та фізичні механізми іскроплазмового спікання; обладнання SPS; процеси на контактах між частинками порошків при SPS; приклади застосування методу.

**Тема 6. Моделі незворотно стисливих пористих матеріалів та порошків** Загальна реологія пластичності. Матеріали типу Мізеса. Скалярні визначальні співвідношення в термінах інваріантів. Феноменологічна модель Шими пластичного деформування порошків металів. Модель Дрюкер-Прагер Кап пресування порошків кераміки. Модель Штерна пресування порошків металів і кераміки. Оцінка накопичення мезоскопічної деформації в нестисливій твердій фазі через макроскопічні деформації пористого матеріалу.

**Тема 7. Ідеалізовані однорідні схеми пресування без врахування сил тертя.** Пресування пуансоном циліндричних заготовок в закритих прес-формах. Залежність робочого тиску на пуансоні та бічного тиску на стінки матриці від густини. Радіальне пресування в еластичній оболонці з обмеженою осьовою деформацією. Схеми пресування порошкових заготовок з частково вільною поверхнею, - вільне осаджування та радіальне пресування без обмеження осьовою деформації.

**Тема 8. Моделювання впливу тертя між заготовкою і прес-інструментом на процес пресування.** Моделювання в пакеті Deform 2D впливу сил тертя між циліндричною порошковою заготовкою та інструментом на зусилля на пуансоні та нерівномірність розподілу густини в залежності від видовженості заготовки. Доцільність двостороннього та радіального ізостатичного пресування.

**Тема 9. Моделювання пресування заготовок складної форми.** Моделювання в пакеті Deform 2D пресування втулок складної форми з отвором та ступінчатими переходами по висоті. Запобігання локальній недопресовці використанням декількох пуансонів та рухомими стінками прес-форми.

**Тема 10. Моделювання спікання порошкових заготовок.** Спікання як процес самоплинної усадки пористого матеріалу під дією надлишкової поверхневої енергії. Реологічна теорія

спікання В.В. Скорохода. . Моделювання в пакеті Deform 2D спотворення форми виробу внаслідок нерівномірної усадки при спіканні

#### **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:**

1. М.Б. Штерн, *Механічні та комп'ютерні моделі консолідації гранульованих середовищ на основі порошків металів і кераміки при деформуванні та спіканні*/ М.Б. Штерн, В.Д. Рудь, В.В. Скороход// Луцьк: Луцьк. нац. техн. ун-т, 2010.-250с.
2. E.A. Olevsky, D. Dudina, *Field assisted sintering.*- Springer.2018.-425с.
3. Mikell P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems, 7 Edition.* – Wiley & Sons, 2021. – 1008 Pages.
4. Ghader Faraji, H.S. Kim, Hessam Torabzadeh Kashi, *Severe Plastic Deformation: Methods, Processing and Properties. 1st Edition - July 14.* – Elsevier Inc., 2018. – 315 p.
5. О. В. Хоменко, *Інтенсивна пластична деформація: методи та математичні моделі формування наноматеріалів // Журнал фізичних досліджень, – 2020. –Т.24. – №2. – С. 2000-1-2000-20.*
6. Б.П. Серета, І.В. Кругляк, А.К. Коваленко, *Обробка тиском порошкових матеріалів. Навчально-методичний посібник.* – Запоріжжя, 2009. – 110 с.
7. Rosochowski A. (Ed.) *Severe Plastic Deformation Technology.* - Whittles Publishing, 2017. — 273 p.
8. Padmanabhan K.A., Prabu S.B., Mulyukov R.R., Nazarov A., Imayev R.M., Chowdhury S.G. *Superplasticity: Common Basis for a Near-Ubiquitous Phenomenon.* - Springer-Verlag, 2018. — 536 p.
9. *Microwave processing of materials (под ред. D.E. Stein).* Washington D.C.: National Academy Press. 1994. –150 p.

##### **Додаткова література:**

1. Скороход В.В. *Наука про спікання: еволюція ідей, досягнення, поточні проблеми та нові тенденції II Проблема активного спікання. Роботи раннього періоду / В.В. Скороход // Порошкова металургія. – 2016. – №01/02. – С.26-40.*
3. Randall M. German, *Powder Metallurgy Science.* – Metal Powder Industry, 1994. – 472 p.
4. R. Hill *The mathematical theory of plasticity.* Oxford university press, 1998, 355 pp.
5. L. Ćurković, R. Veseli, I. Gabelica I. Žmak, I. Ropuš, M. Vukšić. *A Review of Microwave-Assisted Sintering Technique. Transactions of FAMENA, Vol. 45 No. 1, 2021. –P. 1-16.*
6. Autar K. Kaw, *Mechanics of composite materials, 2nd ed.* – Taylor & Francis Group, 2006. – 457 p.

7. Olevsky, Eugene A.. "Theory of sintering: from discrete to continuum." *Materials Science & Engineering R-reports* 23 (1998): pp. 41-100

8. R. M. Christensen *Mechanics of composite materials*, , Wiley-Interscience, New York, 1979, 348 pp.

## Навчальний контент

### 1. 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.

### 2. 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

### 3. 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: 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  $C$ . 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 канд. техн. наук, старш. наук. співр. Толочин Олександр Іванович,

канд. техн. наук Кузьмов Андрій Васильович

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