



# Процеси консолідації порошкових та композиційних матеріалів

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна (денна) / дистанційна / змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS / 120 годин: лекції – 36 год; практичні заняття – 18 год; самостійна робота студента (СРС) – 66 год.</i>
Семестровий контроль / контрольні заходи	<i>Залік / МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор, Міницький Анатолій Вячеславович, mail: aminitsky@gmail.com Практичне заняття: д.т.н., професор, Міницький Анатолій Вячеславович</i>
Розміщення курсу	<i>Googleclassroom</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

*Вивчаючи дисципліну, студенти отримують знання, що стосуються процесів консолідації порошкових, композиційних та наноструктурованих матеріалів різного функціонального призначення.*

**Метою** викладання навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- Здатність аналізувати та розробляти основні технології виготовлення порошкових виробів та обирати необхідне обладнання для виготовлення порошкових виробів;*
- Здатність розробляти проекти виробничих технологічних процесів виготовлення виробів з сучасних матеріалів традиційними та генеративними методами;*

*а також розвиток загальних компетентностей, які полягають у:*

## Сучасні методи консолідації порошкових матеріалів

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу та оцінки сучасних наукових досягнень, генерування нових знань у вирішенні дослідницьких і практичних завдань
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

**Предметом** дисципліни є аналіз різних методів консолідації дисперсних систем, що забезпечують високі характеристики виробів отриманих методом порошкової металургії.

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен знати:

- Принципи проектування нових матеріалів
- Технічні характеристики, умов роботи, застосування виробничого обладнання для обробки матеріалів та контрольно-вимірювальних приладів
- Закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення
- Вплив технологічних параметрів методів отримання композитів і покриттів із вихідних порошків різного ступеня дисперсності на експлуатаційні характеристики виробів

Студент повинен уміти:

- Застосовувати у професійній діяльності принципи проектування нових матеріалів
- Здійснювати технологічне забезпечення виготовлення матеріалів та виробів з них
- Описувати послідовність підготовки виробів та обчислювати економічну ефективність виробництва матеріалів та виробів з них
- Обирати технологію отримання композитів і покриттів із вихідних порошків різного ступеня дисперсності в залежності від умов експлуатації виробів

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

Дисципліна викладається в сьомому семестрі підготовки за освітньою програмою підготовки бакалаврів. Для успішного освоєння матеріалу потрібні знання з нормативних дисциплін Основи металознавства, Фізико-хімічні основи отримання металів, сплавів та сполук у дисперсному стані, Теорія та технологія процесів консолідації дисперсних матеріалів, Матеріалознавства тугоплавких матеріалів, а також знання з вибіркової дисципліни Сучасні процеси формування композиційних матеріалів.

Дисципліна забезпечує розширення кругозору в галузі матеріалознавства та інженерії матеріалів чим формує набір загальних компетенцій та інтегральну компетенцію. Результати вивчення дисципліни можуть бути використані у виконанні розрахунків та оцінці результатів в дипломних роботах.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліна «Процеси консолідації порошкових та композиційних матеріалів» містить один змістовний модуль: «Процеси консолідації порошкових та композиційних матеріалів»

*Розділ 1. Фізико-хімічні явища, що відбуваються в процесі консолідації дисперсних систем в умовах формування та спікання. Основні технологічні параметри, що характеризують деформаційні та дифузійні процеси. Сучасні методи формування порошкових металевих, металокерамічних та керамічних матеріалів. Електрофоретичне формування. Інжекційне формування. Процеси механічного легування порошкових систем.*

*Розділ 2. Сучасні методи консолідації дисперсних систем із застосуванням тиску і температури. Термодеформаційні методи оброблення порошкових матеріалів. Холодне та*

## Сучасні методи консолідації порошкових матеріалів

*гаряче ізостатичне пресування. Тепле та гаряче статичне пресування. Динамічне гаряче пресування. Гаряче штампування. Колекторне пресування. Магнітно-імпульсне пресування. Віб्रो-імпульсне пресування. Ультразвукове пресування. Конформ пресування. Пресування порошків за допомогою саморозповсіджувального високотемпературного синтезу.*

*Розділ 3. Методи інтенсивної пластичної деформації порошкових систем. Кручення під високим тиском. Рівноканальне кутове пресування. Гвинтова екструзія. 3D гаряче кування. Асиметричне прокатування порошкових матеріалів. Пакетна гідроекструзія. Методи отримання аморфних матеріалів.*

*Розділ 4. Адитивні методи компактування дисперсних систем. Селективне лазерне спікання. Селективне лазерне плавлення. Електронно-променеве плавлення.*

*Розділ 5. Основні методи спікання порошкових систем. Радіаційне та мікрохвильове спікання порошкових матеріалів. Електророзрядне спікання порошкових матеріалів. Плазмове спікання порошкових матеріалів. Спікання порошкових матеріалів в умовах інфільтрації.*

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

#### **Базова література**

1. Степанчук А.М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів : навч. посіб. / А.М. Степанчук. – Київ : Центр учбової літератури, 2016. – 336 с.

2. Степанчук А.М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук: Підручник./ А.М. Степанчук. – Київ : НТУУ „КПІ”, 2006. – 353 с

3. Рослик І.Г. Основи порошкової металургії. Частина 1. Виробництво порошків. Навч. Посібник./ І.Г. Рослик, А.М. Ковзик, О.О. Внуков– Дніпро: НМетАУ, 2019. - 50 с.

4. Куцова В.З. Наноматеріали та нанотехнології. Навч. посібник. У двох частинах / В.З. Куцова, Т.В. Котова, Т.А. Аюпова – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – 103 с.

5. Писаренко В.Г. Сучасні технології в машинобудуванні. Інжекційне лиття порошку [Текст]: навч. посібник / В. Г. Писаренко, В. В. Савуляк, Є. Ф. Боковий [та інш.]– Вінниця : ВНТУ, 2019. – 242 с.

#### **Додаткова література**

6. Савчук П.П. Композитні матеріали [Текст]: навч. посібник / П. П. Савчук, В. П. Кашицький, М. Д. Мельничук [та інш.] – Луцьк : Видавець ФОП Теліцин О.В., 2017. – 368 с.

7. Сусліков Л.М. Фізика і технологія наноматеріалів [Текст]: навч. посібник для студентів фізико-технічних спеціальностей / Л.М. Сусліков, В.С. Дьордяй– Ужгород: Видавництво «Говерла», 2023. – 437 с.

*Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел, які знаходяться у бібліотеці НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського для глибшого опрацювання рекомендованих викладачем розділів, що відповідають тематиці лекцій та/чи практичних занять. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект.*

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

### Зміст лекційних занять

Лекція 1. Вступ. Організація очного/дистанційного навчання. Рейтингова система оцінювання. Фізичні явища, що відбуваються в процесі консолідації дисперсних систем в умовах формування та спікання. Класифікація основних методів формування порошкових металевих, металокерамічних та керамічних матеріалів. (мультимедійна презентація; [1], [3], [5])

Лекція 2. Електрофоретичне формування. Інжекційне формування. Вимоги до порошкових сумішей та зв'язок. Вплив технологічних параметрів формування на механічні властивості порошкових матеріалів. (мультимедійна презентація; [1], [5])

Лекція 3. Сучасні методи пресування дисперсних систем. Вплив термодформаційних методів оброблення на структуру та властивості порошкових матеріалів; (мультимедійна презентація [2], дод. [1])

Лекція 4. Холодне та гаряче ізостатичне пресування. Обладнання, що використовується для ізостатичного пресування. Матеріали оболонки для ізостатичного пресування. Тепле та гаряче статичне пресування. Динамічне гаряче пресування. Обладнання та оснастка методів теплового і гарячого пресування. Гаряче штампування порошкових заготовок, основні параметри деформаційної обробки; (мультимедійна презентація; [1], дод. [1])

Лекція 5. Колекторне пресування. Магнітно-імпульсне пресування. Вібро-імпульсне пресування. Ультразвукове пресування. Конформ пресування. Обладнання та оснастка методів; (мультимедійна презентація; [1, 2]).

Лекція 6. Пресування порошків за допомогою саморозповсіджувального високотемпературного синтезу (СВС). Вимоги до реакційних сумішей для СВС. Основні стадії ущільнення суміші при СВС; (мультимедійна презентація; [1, 2])

Лекція 7. Методи інтенсивної пластичної деформації порошкових систем. Основні стадії процесу інтенсивної пластичної деформації; Кручення під високим тиском. Рівноканальне кутове пресування. Гвинтова екструзія. (мультимедійна презентація; [2,3], дод. [1])

Лекція 8. 3D гаряче кування порошкових систем. Асиметричне прокатування порошкових матеріалів. Пакетна гідроекструзія; (мультимедійна презентація; [1, 4], дод. [1])

Лекція 9. **Проведення тематичної контрольної роботи 2.** Класифікація адитивних методів компактування дисперсних систем. Вимоги до порошків, що використовуються в адитивних методах консолідації. Методи, що забезпечують необхідні фізико-технологічні характеристики порошків для методів адитивного виробництва; (мультимедійна презентація; [1, 2], дод. [1])

Лекція 10. Селективне лазерне спікання порошкових матеріалів. Апаратурне оформлення методу селективного лазерного спікання. Основні процеси, що відбуваються при консолідації порошкових систем методом селективного лазерного спікання; (мультимедійна презентація; [1], дод. [1])

Лекція 11. Селективне лазерне плавлення порошкових матеріалів. Апаратурне оформлення методу селективного лазерного плавлення. Основні процеси, що відбуваються при консолідації порошкових систем методом селективного лазерного плавлення; (мультимедійна презентація; [1])

Лекція 12. Електронно-променеве спікання та плавлення порошкових матеріалів. Апаратурне оформлення електронно-променевих установок. Основні процеси, що відбуваються при консолідації порошкових систем методом електронно-променеве спікання та плавлення; (мультимедійна презентація; [1, 3])

## Сучасні методи консолідації порошкових матеріалів

Лекція 13. Сучасні методи спікання порошкових систем. Особливості процесів твердофазного та рідкофазного спікання. Методи активації процесів спікання; (мультимедійна презентація; [1], [2])

Лекція 14. Мікрохвильове спікання порошкових матеріалів. Принцип методу та процеси, що відбуваються при мікрохвильовому нагріві. Діелектричні властивості матеріалів та абсорбція мікрохвильової енергії; Апаратурне оформлення методу мікрохвильового спікання (мультимедійна презентація; дод. [1])

Лекція 15. Електророзрядне спікання порошкових матеріалів. Стадії процесу електророзрядного спікання порошкових систем. Основні технологічні параметри електророзрядного спікання, що впливають на характеристики матеріалів; (мультимедійна презентація; [1], [2])

Лекція 16. **Проведення тематичної контрольної роботи 2.** Плазмове спікання порошкових матеріалів. Стадії процесу плазмового спікання порошкових систем. Основні технологічні параметри плазмового спікання, що впливають на характеристики матеріалів; (мультимедійна презентація; [1], [3])

Лекція 17. Спікання порошкових матеріалів в умовах інфільтрації. Процеси реакційного спікання порошкових матеріалів. Особливості процесу інфільтрації під дією капілярних сил та зовнішнього тиску. Основні параметри, що впливають на процеси інфільтрації порошкових матеріалів; (мультимедійна презентація; [1])

Лекція 18. Залік.

### Перелік тем практичних занять

1. Розрахунок продуктивності обладнання, що застосовується для механічного легування порошкових систем (4 години)
  2. Розрахунок допустимого відхилення розмірів та маси деталей отриманих інжекційним формуванням (2 годин)
  3. Розрахунок продуктивності пресового обладнання для статичного пресування (4 годин)
  4. Розрахунок процесу деформації еластичних оболонок для ізостатичного пресування (2 годин)
  5. Розрахунок продуктивності обладнання для інтенсивної пластичної деформації (4 години)
  6. Розрахунок швидкості процесу інфільтрації порошкових матеріалів розплавами (2 години)
- 6. Самостійна робота студента**

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 66 годин) з дисципліни полягає в

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем – 30 годин;
- підготовці до виконання практичних занять, аналізу одержаних результатів та формулюванні висновків – 18 годин;
- підготовка до тематичних контрольних робіт – 12 годин;
- підготовці до підсумкової атестації – заліку 6 годин.

## Політика та контроль

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

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- Завдання пропущеного практичного заняття студент повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.

## Сучасні методи консолідації порошкових матеріалів

- 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 хмарних 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. За дистанційної чи змішаної форми навчання звіт оформлюється засобами googledocs, після чого надається доступ для редагування для викладача. За звичайної аудиторної форми навчання звіт виконується в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається у роздрукованому вигляді. Безпосередній захист відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.
- 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, курсового чи дипломного проектування. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.
- Політикою едделайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. 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>.

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

#### Поточний контроль:

- **Захист звітів з практичних робіт** всього максимально 72 балів, відповідно:
  - Практична робота 1                      максимум 12 бали
  - Практична робота 2                      максимум 12 бали
  - Практична робота 3                      максимум 12 бали
  - Практична робота 4                      максимум 12 бали
  - Практична робота 5                      максимум 12 бали
  - Практична робота 6                      максимум 12 бали
- **МКР** розбита на 2 Тематичні контрольні роботи, які проводяться у вигляді контрольної роботи з двох питань на 7-му та 11-му навчальних тижнях. Максимальна оцінка за кожну роботу 14 балів (7 балів – перше питання та 7 балів – друге питання), всього складає 28 балів за семестр.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для позитивного першого календарного контролю студент повинен отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт №1, №2, №3 та Тематичної контрольної роботи №1. Для позитивного другого календарного контролю студент повинен отримати позитивні оцінки за захист практичних робіт №4 і №5 та тематичної роботи №2. Семестровий контроль: залік.

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

- Тематичні контрольні роботи не менше 16 балів

## Сучасні методи консолідації порошкових матеріалів

- *Захист звітів з практичних робіт не менше 44 балів*

*У випадку незгоди з семестровим рейтингом, студент має право здавати залікову контрольну роботу, що складається з двох завдань. Проводиться письмово, на написання відводиться 2 академічної години. У випадку, якщо оцінка за залікову контрольну менша ніж за рейтингом, застосовується «м'який» PCO (студент отримує більшу з оцінок із отриманих за результатами залікової контрольної або за рейтингом).*

*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.*

*Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:*

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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

### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

- *Питання до тематичних контрольних робіт та залікової контрольної роботи знаходяться у Додатку.*
- *Рекомендовано застосовувати результати навчання під час виконання дипломних проєктів (робіт), пов'язаних із розробкою технологічних схем для отримання порошкових виробів.*

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

## Сучасні методи консолідації порошкових матеріалів

**Складено:** професор каф. високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д.т.н.,  
професор, Мініцький Анатолій Вячеславович

Ухвалено: кафедрою високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

(протокол № 17 від 26 червня 2024 р.).

**Погоджено:** Методичною комісією НН Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона  
(протокол №12/24 від 28 червня 2024 р.).



**Питання для тематичних контрольних робіт та залікової контрольної роботи з дисципліни «Сучасні методи консолідації порошкових матеріалів»**

1. Класифікація основних методів формування порошкових металевих, металокерамічних та керамічних матеріалів.
2. Електрофоретичне формування порошкових матеріалів.
3. Інжекційне формування порошкових матеріалів.
4. Методи механічного легування порошкових систем.
5. Холодне та гаряче ізостатичне пресування.
6. Тепле та гаряче статичне пресування порошкових матеріалів.
7. Динамічне гаряче пресування порошкових матеріалів.
8. Гаряче штампування порошкових заготовок, основні параметри деформаційної обробки.
9. Колекторне пресування порошкових матеріалів.
10. Магнітно-імпульсне пресування порошкових матеріалів.
11. Віб्रो-імпульсне пресування порошкових матеріалів.
12. Ультразвукове пресування порошкових матеріалів.
13. Конформ пресування порошкових матеріалів.
14. Пресування порошків за допомогою саморозповсіджувального високотемпературного синтезу.
15. Методи інтенсивної пластичної деформації порошкових систем.
16. Основні стадії процесу інтенсивної пластичної деформації.
17. Кручення під високим тиском.
18. Рівноканальне кутове пресування.
19. Гвинтова екструзія.
20. 3D гаряче кування порошкових систем.
21. Асиметричне прокатування порошкових матеріалів.
22. Пакетна гідроекструзія.
23. Класифікація адитивних методів компактування дисперсних систем.
24. Вимоги до порошків, що використовуються в адитивних методах консолідації.
25. Селективне лазерне спікання порошкових матеріалів.
26. Селективне лазерне плавлення порошкових матеріалів.
27. Електронно-променеве спікання та плавлення порошкових матеріалів.
28. Сучасні методи спікання порошкових систем. Особливості процесів твердофазного та рідкофазного спікання.
29. Мікрохвильове спікання порошкових матеріалів.
30. Електророзрядне спікання порошкових матеріалів.
31. Плазмове спікання порошкових матеріалів.
32. Спікання порошкових матеріалів в умовах інфільтрації.
33. Особливості процесу інфільтрації під дією капілярних сил та зовнішнього тиску.