



Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Кафедра  
високотемпературних  
матеріалів та порошкової  
металургії

## Теорія процесів консолідації порошкових та композиційних матеріалів

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	<i>Перший рівень вищої освіти ступеня «бакалавр»</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Освітньо-професійна програма першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ступеня «бакалавр»</i>
Статус дисципліни	<i>Основна</i>
Форма навчання	<i>Очна /змішана (Прискореники)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, 6 (весняний) семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5,0 кредити ECTS</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: к.т.н., професор, Степанчук Анатолій Миколайович <a href="mailto:astepanchuk@iff.kpi.ua">mail:astepanchuk@iff.kpi.ua</a> Лабораторні заняття: ст. викл., Руденький Сергій Олексійович</i>
Розміщення курсу	<i>Googleclassroom</i>

## Програма навчальної дисципліни

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

Тепер для отримання матеріалів і виробів з них 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. Вихідними матеріалами для отримання таких виробів є порошки у різному дисперсному стані, які у подальшому компактуються шляхом їх пресування (формування) для надання виробам необхідної форми і розмірів і у подальшому для надання їм необхідних властивостей спікаються (термооброблюються). Застосовуючи різні технологічні варіанти і умови пресування та спікання можна отримувати вироби з різними щільністю та структурою і, як наслідок, різними функціональними властивостями залежно від вимог.

У свою чергу властивості отримуваних виробів залежать від процесів, які лежать в основі пресування та спікання. Це, перш за все, процеси деформації матеріалів під дією зовнішніх навантажень, сил зумовлених наявністю викривлених поверхонь, самодовільних термодинамічних процесів, які сприяють зменшенню зовнішньої та внутрішньої енергії систем і, тим самим, руху їх до рівноваги.

Тому **предметом** вивчення в дисципліні “Теорія процесів консолідації порошкових та композиційних матеріалів” є явища, що лежать в основі процесів компактування порошкових матеріалів різними методами і, виходячи з цього, параметри процесів, які забезпечують отримання їх з наперед заданими властивостями та структурою.

**Предметом** вивчення є також теоретичні основи вибору методу та технологічних параметрів пресування (формування) вхідних порошків та спікання отриманих з них заготовок з використанням термодинамічних засад та аналітичного опису процесів.

У зв'язку з цим основними завданнями дисципліни “Теорія процесів консолідації порошкових та композиційних матеріалів” є надання студентам фундаментальних знань, які б допомогли їм встановлювати кінетику процесів та проводити їх аналітичний опис з метою отримання порошкових виробів з наперед заданими властивостями та структурою на основі розуміння фізико-хімічних явищ, що лежать в основі створення матеріалів з застосуванням методів порошкової металургії.

Розуміння засад, які лежать в основі процесів компактування порошкових матеріалів пресуванням з наступним спіканням базується на фундаментальних законах фізики, механіки, фізичної хімії, фізики конденсованого стану, термодинамічних та кінетичних засад створення матеріалів.

**Метою навчальної дисципліни є формування у студентів**

**здатностей:**

- Здатність застосовувати професійні знання й уміння на практиці під час отримання порошкових виробів з використанням порошків металів, сплавів та сполук;
- Здатність вирішувати проблеми в професійній діяльності на основі аналізу та синтезу літературних та довідкових даних відносно розробки процесів компактування порошкових виробів;
- Здатність вибирати оптимальні методи та технологічні режими формування та спікання порошкових виробів з метою отримання їх з заданими властивостями;

- Здатність за відомими методиками з використанням сучасного аналітичного опису проводити розрахунки з метою оптимізації умов формування та спікання порошкових виробів.
- Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку рівня властивостей порошкових виробів після їх пресування і спікання;
- Здатність забезпечувати технологічність виробів і процесів їхнього виготовлення та оброблення, контролювати дотримання технологічної дисципліни під час компактування порошкових виробів;
- Здатність застосовувати методи стандартних випробувань щодо визначення фізичних, хімічних, структурних та технологічних властивостей готових порошкових виробів;
- Здатність обирати з економічної та технологічної точки зору оптимальну технологію для компактування порошкових виробів;

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

**знання:**

- основ організації виробничої і наукової діяльності у галузі отримання порошкових виробів компактування вихідних порошків металів, сплавів і тугоплавких сполук;
- методик пошуку інформації у традиційному та електронному виді у галузі отримання порошкових виробів компактуванням вихідних порошків металів, сплавів і сполук;
- стандартних методів випробувань та статистичних методів оцінки якості виробів на різних етапах їх отримання компактування порошків металів, сплавів та тугоплавких сполук;
- характеристик основних і допоміжних матеріалів, що використовуються для компактування порошкових і композиційних матеріалів;
- фізико-хімічних процесів, які відбуваються під час технологічних операцій компактування порошкових і композиційних матеріалів;
- факторів, що впливають на фізико-хімічні процеси, які відбуваються під час компактування порошкових і композиційних матеріалів;
- методів впливу на структуру і властивості отримуваних виробів компактуванням порошкових і композиційних матеріалів;
- загальних принципів контролю та регулювання технологічних параметрів отримання виробів компактування порошкових і композиційних матеріалів;
- стандартних методів вимірювання параметрів продукції, обладнання і технологічних процесів по отриманню виробів компактування порошкових і композиційних матеріалів;
- стандартних методів контролю якості отримуваних виробів;

**уміння:**

- обирати та обґрунтовувати методи вирішення поставлених задач стосовно вибору технології та забезпечення умов отримання порошкових виробів компактуванням порошкових і композиційних матеріалів з заданими властивостями;
- використовувати базові знання з природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук для вирішення практичних задач професійної діяльності під час отримання порошкових виробів компактуванням порошкових і композиційних матеріалів;
- використовувати знання із технологій виготовлення порошкових виробів компактуванням порошкових і композиційних матеріалів;
- використовувати стандартні методи та методики розрахунку при виборі методу компактування порошкових і композиційних матеріалів;

- виконувати інженерні розрахунки, оцінювати кількісні параметри технологічних процесів отримання порошкових виробів компактуванням порошкових і композиційних матеріалів;
- готувати матеріали та приймати участь у проведенні стандартних випробування щодо визначення фізичних, хімічних та механічних властивостей вихідних матеріалів та отриманих порошків, проводити їх оцінку;
- аналізувати основні технології отримання порошків металів, сплавів та тугоплавких сполук;
- визначати послідовність технологічних операцій для отримання виробів компактуванням порошкових і композиційних матеріалів заданої якості;
- використовувати стандартні методи і засоби вимірювання параметрів продукції, обладнання та технологічних процесів під час отримання виробів компактуванням порошкових і композиційних матеріалів.

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

Дисципліна викладається у шостому семестрі підготовки за освітньо-професійною програмою першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ступеня «бакалавр». Для успішного засвоєння дисципліни, студент повинен володіти набором компетентностей першого рівня вищої освіти ступеня «бакалавр» зі спеціальності 132 Матеріалознавство. Вивчення дисципліни базується на вивченні таких фундаментальних дисциплін як "Математика", "Фізика", "Механічні властивості", "Фізична хімія", "Фізика конденсованого стану", "Теоретична та прикладна механіка", "Термодинаміка матеріалів", "Кінетика процесів в матеріалах" та інших.

Дисципліна "Теорія процесів консолідації порошкових та композиційних матеріалів" дає студенту можливість у подальшому під час отримання порошкових та композиційних матеріалів на базі знань фізико-хімії явищ і процесів створювати їх з заданим комплексом фізико-технічних властивостей, оволодіти спеціальними технологічними прийомами виготовлення виробів компактуванням порошкових і композиційних матеріалів..

У свою чергу дисципліна є основою для вивчення інших дисциплін при навчанні на етапі підготовки бакалаврів а також магістрів і докторів філософії. До таких професійно орієнтованих дисциплін відносяться:

**"Технологія та обладнання виробництв порошкових та композиційних матеріалів"** (розглядається вплив методу компактування на технологію отримання порошкових та композиційних матеріалів);

**"Матеріалознавство тугоплавких та композиційних матеріалів"** (розглядається взаємозв'язок методу компактування з властивостями порошкових композиційних матеріалів);

**"Проектування конструкцій з порошкових та композиційних матеріалів"** (розглядається вплив методів компактування на методи конструювання порошкових та композиційних матеріалів);

**"Наноструктурні матеріали та основи технологій їх одержання"** (Розглядаються теоретичні та технологічні особливості компактування порошків металів і сплавів при отриманні наноструктурних матеріалів).

**"Композиційні матеріали для медицини"** (Розглядається вплив методу компактування на функціональні властивості матеріалів для медицини);

**"Надтверді матеріали та тверді сплави"** (Розглядається вплив методу компактування на формування структури і властивостей твердих сплавів).

Набуті під час вивчення дисципліни “Теорія процесів консолідації порошкових та композиційних матеріалів ” здатності , знання, уміння знаходять широке застосування при виконанні дипломних, курсових робіт, виконанні курсових та дипломних проектів.

### **3 Зміст навчальної дисципліни**

#### **Розділ 1– Формування порошкових тіл**

- Тема 1.1. Загальні закономірності ущільнення порошкових тіл.
- Тема 1.2. Варіанти формування. Практика формування.
- Тема 1.3. Ізостатичне формування.
- Тема 1.4. Формування довгомірних виробів.
- Тема 1.5. Швидкісне (імпульсне) формування.
- Тема 1.6. Бездеформаційні методи формування.

#### **Розділ II – Спінання.**

- Тема 2.1. Характеристика процесів, які лежать в основі спінання.
- Тема 2.2. Спінання в реальних умовах. Вплив різних факторів на процес спінання.
- Тема 2.3. Методи інтенсифікації процесів спінання.
- Тема 2.4. Спінання під тиском.
- Тема 2.5. Спінання багатокомпонентних матеріалів.
- Тема 2.6. Властивості спечених порошкових та композиційних виробів.

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

#### **4.1. Базова література**

1. Степанчук А.М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: Навчальний посібник. /А.М. Степанчук. – К. : ЗАО "ВПОЛ", 2016. – 320 с.
2. Порошковая металлургия и пыленные покрытия: Учебник для вузов /В.Н. Анциферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинин и др. – М., Металлургия, 1987. – 792 с.
3. Сердюк Г. Г., Свистун Л. И. Технология порошковой металлургии. Часть 2. Формование порошков: Учебное пособие. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2005. – 160 с.
4. Степанчук А.Н. Закономерности прессования порошковых материалов.– К. : УМК ВО , 1992. –175 с.
5. Степанчук А.Н. Теорія і технологія пресування та спінання порошкових та композиційних матеріалів: метод.вказівки до викон. лабор. робіт для студ. спец.”Композиційні та порошкові матеріали, покриття” /А.Н. Степанчук. – К. : НТУУ”КПІ”, 2009. – Ч.І. – 76 с.
6. Степанчук А.М. Теорія і технологія пресування та спінання порошкових та композиційних матеріалів: метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт для студ. спец.”Композиційні та порошкові матеріали, покриття” /А.М. Степанчук, П.І. Лобода, С.О. Руденький. – К.: НТУУ”КПІ”, 2009. – Ч.ІІ. – 76 с.

#### **4.2 Додаткова**

1. Жданович Г.М. Теория прессования порошковых материалов. /Г.М. Жданович. – М. : Металлургия, 1969. – 264 с.

2. Феномонологические теории прессования /М.Б.Штерн, Г.Г.Сердюк, Л.А.Максименко и др. – К. : Наукова думка, 1982. – 14 с.
3. Процессы изостатического прессования /Под ред. П.Дж.Джеймса. - М. : Metallurgia, 1990. – 192 с.
4. 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.
5. Высокоскоростные способы прессования деталей из порошковых материалов /К.Н.Богоявленский, П.А.Кузнецов, К.К.Мартенс и др. – Л. : Машиностроение, 1984. –168 с.
6. Виноградов Г.А. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул. /Г.А. Виноградов, В.П. Каташинский. – М. : Metallurgia, 1979. – 224 с.
7. Добровольский А.Г. Шликерное литье. /А.Г Добровольский. – М. : Metallurgia, 1977. – 240 с.
8. Физико-химические основы вибрационного уплотнения порошковых металлов. –М. Наука, 1969. – 162 с.
9. Гегузин Я.Е. Физика спекания./Я.Е. Гегузин. – М. : Наука,1967.- 360 с.
10. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания. /В.В. Скороход. – К. : Наук.думка, 1972. – 149 с.
11. Ковальченко М.С. Теоретические основы горячей обработки пористых материалов давления. / М.С. Ковальченко. – К. : Наук. Думка, 1980. – 240 с.
12. Бондаренко В.П. Проектирование пресс форм для изделий из твердых сплавов. / В.П. Бондаренко, А.Я. Аронин, В.С. Мендельсон. – К. : Наук. думка, 1983. – 184 с.
13. Самсонов Г.В. Высокотемпературные неметаллические термопары и наконечники. / Г.В. Самсонов, П.С. Кислый. – К. : Наук. думка, 1969. – 181 с.
14. Скороход В.В. Физико-металлургические основы спекания порошков. / В.В. Скороход, С.М. Солонин. – М.; Metallurgia, 1984. – 159 с.
15. Кислый П.С., Кузенкова М.А. Спекание тугоплавких соединений. /П.С. Кислый., М.А. Кузенкова. – К. : Наук.думка.1980. – 167 с.
16. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. /А.И. Райченко. – М. : Metallurgia. 1987. – 184 с.
17. Самсонов Г. В. Горячее прессование. /Г.В. Самсонов, М.С. Ковальченко. – К. : Гостехиздат, 1962. – 264 с.

#### **4.3. Інформаційні ресурси**

1. Кампус НТУУ «КПІ»
2. [compano.kpi.ua](http://compano.kpi.ua)
3. [iff.kpi.ua](http://iff.kpi.ua)
4. [tempus.kpi.ua](http://tempus.kpi.ua)

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

## Навчальний контент

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

#### 5.1 Лекції

##### Розділ 1– Формування порошкових тіл

**Заняття 1** – Механізм ущільнення порошкових тіл. Процеси, які лежать в основі ущільнення. Етапи ущільнення. Різниця в ущільненні пластичних та крихких матеріалів. Вплив властивостей порошоків та параметрів ущільнення на процес ущільнення.

Розподіл щільності у пресовках при формуванні. Процеси при ущільненні.

Внутрішнє та зовнішнє тертя. Боковий тиск. Сила виштовхування, пружна післядія. Роль мастил при формуванні.

Механізми ущільнення порошкових матеріалів. Методи визначення бокового тиску та зовнішнього тертя при пресуванні;

**Заняття 2,3** – Аналітичний опис процесу пресування.

Рівняння пресування по Бальшину, Куніну та Юрченко, Ждановичу, їх аналіз та практичне використання. Визначення сталих рівнянь.

Аналітичний опис процесів пресування по Штерну, Щербаню, Перельману;

**Заняття 4** – Практика формування. Підготовка порошоків для пресування. Відпал, класифікація, розсів, змішування, грануляція. Визначення наважки, дозування.

Варіанти формування. Пресування на механічних та гідравлічних пресах.

Методи визначення якості змішування вихідної шихти для пресування. Методики визначення якості змішування. Обладнання для формування порошкових виробів.

**Заняття 5** – Ізостатичне формування. Різновидності ізостатичного формування. Гідростатичне, квазістатичне та газостатичне формування. Закономірності ізостатичного формування. Аналітичний опис ізостатичного формування.

Практика ізостатичного формування.

**Заняття 6** – Швидкісне (імпульсне) формування. Методи імпульсного формування. Формування на установках типу “копра”, гідродинамічне, електроімпульсне формування, формування вибухом.

Механізм ущільнення при імпульсному формуванні. Вплив різних факторів на процес ущільнення.

Аналітичний опис імпульсного формування.

Швидкісне формування. Пресування з використанням високовольтного розряду в рідині. Електроімпульсне формування.

**Заняття 7** – Формування довгомірних виробів. Формування скошеним пуансоном, прокаткою, мундштучним пресуванням. Закономірності процесів. Вплив параметрів формування та властивостей порошоків на властивості виробів. Аналітичний опис процесів.

Практика формування довгомірних виробів прокаткою, екструзією.

Інжекційне формування.

**Заняття 8** – Бездеформаційне формування. Шлікерне литво, інжекційне формування. Підготовка вихідних матеріалів. Стійкість шлікерів. Механізм формування.

**Заняття 9** – Вібраційне формування. Вплив властивостей порошків та параметрів процесу на розподіл щільності при вібраційному формуванні. Брак при формуванні, його причини та можливість виправлення. Методи контролю якості формовок.

## Розділ II Спікання

**Заняття 10** – Терміни спікання. Зовнішні ознаки спікання. Усадка при спіканні та її визначення. Рушійні сили спікання. Загальні відомості про стан матеріалів при кімнатній температурі та нагріві з точки зору наявності дефектів, дифузійних процесів деформації.

Поверхневий натяг як рушійна сила спікання. Капілярний тиск. Основні механізми спікання.

**Заняття 11** – Характеристика основних механізмів спікання. Спікання як в'язка (дифузійно-в'язка) течія, об'ємна самодифузія, пластична течія, поверхнева дифузія, перенесення через газову фазу. Спікання по Френкелю, Пінесу, Гегузіну. Основні стадії спікання при дії цих механізмів, фізико-хімічні закономірності та кінетика процесів.

**Заняття 12** – Феномонологічний опис процесу спікання. Вплив геометричного та структурного факторів на процес спікання. Спікання по В.В.Скороходу.

**Заняття 13** – Вплив різних факторів на процес спікання. Вплив температури, часу, властивостей порошків та формовок, умов спікання на усадку та властивості виробів.

**Заняття 14** – Спікання під тиском. Гаряче пресування, гаряче ізостатичне пресування, штампівка, гаряче кування. Механізм ущільнення та закономірності формування структури та властивостей виробів при спіканні під тиском. Аналітичний опис процесів спікання під тиском.

Спікання з використанням високоенергетичних джерел. Спікання гарячим пресуванням, методи та обладнання. Динамічне гаряче формування.

**Заняття 15** – Закономірності спікання багатокомпонентних систем. Вплив складу матеріалів та процесів гетеродифузії на кінетику спікання. Ефекти Френкеля та Кінендала.

Особливості усадки та процесів формування структури і властивостей виробів при спіканні систем з необмеженою та обмеженою розчинністю компонентів, систем, які складаються з нерозчинних компонентів.

**Заняття 16, 17** – Спікання багатокомпонентних систем у присутності рідкої фази. Роль змочуємості рідкої фази твердої фази у процесах спікання. Дія основних механізмів при спіканні у присутності рідкої фази. В'язка течія, розчинення-осадження або перекристалізація через рідку фазу, спікання у твердій фазі.



Варіанти спікання у присутності рідкої фази. Спікання у присутності рідкої фази, що зберігається до кінця спікання. Спікання у присутності рідкої фази, що зникає у процесі спікання.

Спікання просочуванням. Варіанти спікання просочуванням при наявності та відсутності змочуваності, наявності та відсутності розчинності. Закономірності спікання просочуванням.

Заняття **18** – Властивості спечених виробів. Залежність властивостей спечених виробів від характеристик вихідних порошків, пористих заготовок та умов, режимів їх виготовлення. Методи контролю структури та властивостей спечених виробів. Розрахункові формули.

Методи контролю структури та властивостей спечених виробів. Методики визначення властивостей;

## **5.2 Лабораторні заняття**

Основні завдання циклу лабораторних занять наступні:

- Вивчення закономірностей пресування порошкових матеріалів.
- Вивчення аналітичного опису процесів пресування.
- Вивчення закономірностей спікання порошкових матеріалів.
- Вивчення теоретичних та технологічних основ методів пресування і спікання порошкових матеріалів. Набуття практичних навичок.

Перелік лабораторних робіт:

Лабораторна робота №1 – Дослідження процесу ущільнення порошкових матеріалів. Вивчення впливу властивостей порошків на процес їх ущільнення (4 год.)

Лабораторна робота №3 – Дослідження пресованості порошків, визначення зусилля виштовхування та пружної післядії. (4 год.)

Лабораторна робота №3 – Дослідження рівнянь пресування (6 год.).

Лабораторна робота №4 – Дослідження впливу бокового тиску на розподіл зусиль при пресування. Дослідження процесу ізостатичного пресування. (6 год.)

Лабораторна робота №5 – Вивчення процесу формування структури та властивостей виробів з однокомпонентних матеріалів під час спіканні у твердій фазі (4 год.)

Лабораторна робота №6 – Вивчення процесу формування структури та властивостей виробів багатоконпонентних матеріалів під час спіканні у твердій фазі (4 год.)

Лабораторна робота №7 – Вивчення процесу спікання порошкових матеріалів у присутності рідкої фази. (4 год.).

Лабораторна робота №8 – Вивчення процесу одержання порошкових та композиційних матеріалів просочуванням (4 год.).

### 5.3 Самостійна робота студентів

Самостійна робота студентів полягає у вивченні окремих розділів курсу, виконанні домашніх завдань по набуттю навичок з вибору та розрахунків оптимальних технологічних параметрів процесів формування та спікання порошкових виробів, підготовці до виконання лабораторних робіт та обробці експериментальних даних, одержаних при їх виконанні.

Самостійна робота студентів (загальним об'ємом 78 годин) полягає в:

- самостійному і більш глибокому вивченні окремих розділів дисципліни (21 год.) (Див. дод. 1);
- підготовці до виконання лабораторних робіт, обробці та обговоренні отриманих результатів під час їх виконання, написання висновків ( 18 год.);
- підготовці до виконання модульної контрольної роботи ( 9 год.) ;
- підготовці до семестрової атестації – заліку (30 год.).

Планування самостійної роботи при вивченні дисципліни передбачається згідно таблиці 1 . (див. додаток 1)

## Політика та контроль

### 6 Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- Тему пропущеного лекційного заняття аспірант повинен опрацювати самостійно шляхом написання конспекту;
- Пропущену лабораторну роботу студент 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 виконання лабораторних робіт дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних ресурсів, тощо.
- Результати виконаних лабораторних робіт оформлюються у вигляді звітів у відповідності до вимог.
- Студенту можуть бути нараховані заохочувальні бали за особливі успіхи у навчанні – порівнянні отриманих під час в роботі результатів з результатами теоретичних розрахунків проведених студентом.

▪ 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 лабораторних робіт виконуються і захищаються 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 лабораторних робіт;
- Модульна контрольна робота, яка проводиться на 6 тижні.

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 – №4 та МКР.

Для позитивного другого календарного контролю студент повинен отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт №4 – №8

Семестровий контроль: залік

### **7.2 Критерії нарахування балів**

За семестр з дисципліни студент може максимально отримати 100 балів.

(Див. додаток 2)

Захист звітів з лабораторних робіт максимально складає 63 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 лабораторної роботи – 3–6 балів;

Модульна контрольна робота оцінюється максимально у 16 балів, відповідно:

- Повна відповідь – 16–10 бали;
- Не повна 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 лабораторних занять – 4-6 балів.

Штрафні бали нараховуються за несвоєчасне виконання та захист звітів з лабораторних робіт – 4 бали.

Умовою допуску до семестрового контролю є семестровий рейтинг більше 50 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт, МКР та ДКР кількості балів за видами:

- Захист звітів з лабораторних робіт не менше 31 балів;
- Модульна контрольна робота не менше 8 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.

Семестровий контроль проводиться у вигляді письмового екзамену (приклади білетів див. дод. 5) і можливого додаткового опитування.

. Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою:

- «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:

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.

– International Journal of Refractory Metals and Hard Materials

//[www.journals.elsevier.com/international-journal-of-refractory-metals-and-hard-materials](http://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-refractory-metals-and-hard-materials)

– Journal of Alloys and Compounds, издательство Elsevier BV (Netherlands) Нідерланди

– Journal of Materials Research and Technology //[www.journals.elsevier.com/journal-of-materials-research-and-technology/editorial-board](http://www.journals.elsevier.com/journal-of-materials-research-and-technology/editorial-board)

– Surface and Coatings Technology //[www.journals.elsevier.com/surface-and-coatings-technology](http://www.journals.elsevier.com/surface-and-coatings-technology)

– Materials Characterization //[www.journals.elsevier.com/materials-characterization](http://www.journals.elsevier.com/materials-characterization)

– Computational Materials Science //[www.journals.elsevier.com/computational-materials-science](http://www.journals.elsevier.com/computational-materials-science)

– Materials Science and Engineering //[www.journals.elsevier.com/materials-science-and-engineering-a](http://www.journals.elsevier.com/materials-science-and-engineering-a)

2. Приклади планування самостійної роботи , питань модульної контрольної роботи, екзаменаційних білетів, рейтингової оцінки результатів навчання наведену у додатках 1 – 5.

**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 № від 2021 р.)

**Погоджено:**

Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є. О. Патона (протокол № від 2021 р.)

## ДОДАТКИ

### Додаток 1

Таблиця – Перелік тем самостійної роботи студентів та її обсяг в годинах

№	Назва теми	К-ть годин	Література
1	2	3	4
1.	<b>Розділ I Формування порошкових тіл</b>		
	1. Механізми ущільнення порошкових матеріалів	2	[ 1]-[3],[2д],[4д]
	2. Аналітичний опис процесу пресування по Штерну.	2	[ 1] ,[2д]
	3. Методи визначення якості змішування вихідної шихти для пресування.	2	[2], [8]
	4. Обладнання для формування порошкових виробів	2	[ 1]-[3]
	5. Ізостатичне формування. Практика ізостатичного формування	2	[1],[3],[3д]
	6. Швидкісне формування. Пресування з використанням високовольтного розряду в рідині. Електроімпульсне формування.	2	[1], [5д]
	7. Практика формування довгомірних виробів прокаткою, екструзією. Інжекційне формування.	3	[1], [2], [ 6д]
	<b>Розділ II Спінання</b>		
2	8. Спінання в реальних умовах. Активоване спікання. Методи активованого спікання. Практика активованого спікання.	2	[2], [1д], [4д], [ 10д], [ 15д]
	9. Спінання з використанням високоенергетичних джерел. Спінання гарячим пресуванням, методи та обладнання. Динамічне гаряче формування	4	[2],[11д],[16д], [17д]
	10. Методи контролю структури та властивостей спечених виробів. Методики визначення властивостей.	2	[2], [4д]
3	<b>Підготовка до виконання лабораторних робіт та обговорення отриманих результатів</b>	18	
4	<b>Підготовка до виконання модульної контрольної роботи</b>	9	
5	<b>Підготовка до семестрового контролю (екзамену)</b>	30	
	<b>Всього:</b>	78	

## Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтингова система оцінювання успішності навчання та визначення рейтингу студентів (далі РСО) впроваджується з метою зробити систему оцінювання більш гнучкою, об'єктивною, що сприяє систематичній та активній самостійній роботі студентів протягом усього періоду навчання, забезпечує здорову конкуренцію між студентами у навчанні, сприяє виявленню і розвитку творчих здібностей студентів.

Рейтингова система має на меті оцінку систематичності і успішності роботи студентів з дисципліни «Основи отримання порошкових та композиційних матеріалів».

В основу РСО покладено поопераційний контроль і накопичення рейтингових балів у студентів за різнобічну навчально-пізнавальну діяльність за семестр.

До складу дисципліни входять наступні елементи, що відображають навчальну діяльність студентів:

1. Лабораторні роботи.

Контрольні заходи з дисципліни передбачають:

1. Виконання 1 модульної контрольної роботи.
2. Семестровий контроль (екзамен).

*Рейтингова оцінка (RD) з дисципліни* складається з суми балів поточної успішності навчання  $-r_k$ , а також заохочувальних/штрафних  $r_s$  балів, а саме:

$$RD = \sum_k r_k + \sum_s r_s \quad (1)$$

де  $\sum_s r_s \leq 0,1 \sum_k r_k$ .

*Вагові бали  $r_k$*  з дисципліни одержуються за наступні види навчальної діяльності:

### 1. Лабораторні роботи ( $r_2$ ) (однієї роботи, всього 7 робіт):

- виконання і захист роботи з глибоким розкриттям методики та фізико-хімічної сутності процесів, що вивчались – 9 балів;
- виконання і захист роботи, з посереднім знанням фізико-хімічної сутності процесів, що вивчались – 6–7 балів;
- виконання лабораторної роботи – 4–5 балів;
- відсутність на роботі – 0 бал.

### 2. Модульна контрольна робота ( $r_1$ ):

- повна відповідь – 10,0 балів;
- неповна відповідь – 5–6 балів ;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

*Заохочувальні бали  $r_s$*  надаються додатково за наступні види діяльності:

- участь у факультетських олімпіадах з дисципліни, доповідь на студентських конференціях з тематики дисципліни, модернізація лабораторних робіт, виконання завдань з удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни, підготовка додаткових експериментів при виконанні лабораторної роботи або написання реферату на одну із тем винесених на самостійну роботу..... – 2-4 балів;.

*Штрафні бали  $r_s$*  (зі знаком «мінус») нараховуються за:

- відсутність на лабораторному занятті без поважної причини..... – 2 бали;
- несвоєчасне виконання та захист лабораторних робіт..... – 3 бали;

- відсутність на лекції без поважної причини ..... – 1,0 бал.

### Розрахунок шкали **R** рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру повинна складати **100 балів**.

$$RD = \sum_k r_k + \sum_s r_s = 100 \text{ балів}$$

За результатами навчальної роботи за перші 7 (перша атестація) тижнів студент максимально повинен набрати 24 бали. Перша атестація позитивна якщо студент набрав 12 або більше балів.

За результатами 13 тижнів навчання (друга атестація) студент повинен набрати 47 або більше балів. Друга атестація позитивна якщо студент набрав 24 або більше балів.

Необхідною умовою допуску студента до семестрової атестації з дисципліни є зарахування всіх лабораторних робіт а також рейтинг не менше 60 % від **RD**, тобто 100 балів.

PCO дає студенту можливість до початку екзаменаційної сесії підвищити свій рейтинг з дисципліни завдяки виконанню додаткової роботи з нарахуванням додаткових балів.

Для виставлення оцінок до екзаменаційної відомості та залікової книжки RD переводиться у традиційні та ECTS оцінки відповідно до таблиці.

Таблиця – Шкала рейтингового оцінювання знань студентів

Значення рейтингу з дисципліни <b>RD=r<sub>дкр</sub>+r<sub>1</sub>+r<sub>2</sub>+r<sub>3</sub></b>	Оцінка ECTS та її визначення	Відсоток	Традиційна екзамен. (диф. зал.) оцінка	Традиційна залікова оцінка
$0,95R \leq RD \leq 100$ балів	A – відмінно	10	Відмінно	Зараховано
$0,85R \leq RD < 0,95R$ 85–95 балів	B – дуже добре	25	Добре	
$0,75R \leq RD < 0,85R$ 75–84 балів	C – добре	30		
$0,65R \leq RD < 0,75R$ 65–74 балів	D – задовільно	25	Задовільно	
$0,6R \leq RD < 0,65R$ 60–65 балів	E – достатньо (задовольняє мінімальні критерії)	10		
$RD < 0,6R$ : $RD < 60$ балів	F <sub>x</sub> – незадовільно		Незадовільно	незараховано
<b>RD ≤ 0,5R</b> (залік) $R < 30$ або не виконані інші умови допуску до заліку	F – незадовільно (потрібна додаткова робота)		Не допущено	

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів (<0,6R), тобто оцінку “незадовільно” або “незараховано”, зобов’язані виконувати залікову контрольну роботу.

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг з дисципліни менше 0,5R<sub>C</sub>, зобов’язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з дисципліни і мають академічну заборгованість (якщо кафедра прийняла ці додаткові умови допуску).



## Приклади завдань до модульної контрольної роботи

### №1

1. Дати характеристику методам отримання порошкових виробів великої довжини.
2. Визначити щільність пресовки вагою 24 г., яка складається з 85% заліза, 12% міді та 3% вуглецю і має пористість 10%.

### №2

1. Розкрити сутність методів отримання порошкових виробів з рівномірним розподілом щільності по об'єму.
2. Визначити відносний об'єм пресовки вагою 104 г., яка складається з 90% заліза, 3% міді та 7% нікелю і має пористість 18 %.

### №3

1. Дати характеристику бездеформаційним методам формування порошкових виробів.
2. Визначити щільність та відносну щільність пресовки вагою 100 г, яка складається з 90% вольфраму, 6% кобальту та 4% нікелю і має пористість 6 %. Визначити об'єм пор у пресовці.

### №4

1. Дати характеристику ізостатичним методам формування порошкових виробів. Обґрунтувати аналітичний опис цих методів.
2. Визначити щільність, відносну щільність, відносний об'єм пресовки вагою 96 г., яка складається з 84% вольфраму, 12% кобальту та 4% нікелю і має пористість 11 %. Визначити об'єм пор у пресовці.

### №5

1. Дати характеристику рівнянь, які можуть бути використані для аналітичного опису порошкових матеріалів середньої пластичності.
2. Визначити щільність, пористість, відносний об'єм пресовки, яка складається з 88% вольфраму, 10% кобальту та 2% нікелю і має відносну щільність 82 %. Визначити об'єм пор у пресовці.

### №6

1. Дати характеристику методів формування порошкових виробів, які сприяють отриманню порошкових виробів з високою щільністю та рівномірним її розподілом по його об'єму. Аналітичний опис процесу пресування цими методами.
2. Визначити наважку та об'єм пресовки діаметром 20 мм, висотою 24 мм з пористістю 26%, яка складається з 76% нікелю, 20% міді та 4% вуглецю.

### №7

1. Дати характеристику методів формування порошкових виробів, які сприяють отриманню їх з високою щільністю та рівномірним її розподілом по об'єму. Аналітичний опис пресування цими методами.

2. Визначити наважку та об'єм пресовки з неї пористістю 16% , яка складається з 86% нікелю, 10% міді та 4% вуглецю.

#### №8

1. Розкрити вплив розміру та форми вихідних порошків на процеси формування виробів з них при пресуванні різними методами.

2. Визначити наважку та об'єм пор в пресовці ( $D=18,5$  мм;  $H=16$  мм) з неї з пористістю 21% , яка складається з 76% хрому, 20% титану та 4% вуглецю.

#### №9

1. Розкрити роль пластифікаторів при пресуванні виробів різними методами. Визначення властивостей пластифікованих сумішей при пресуванні порошкових виробів мударним та інжекційним формуванням.

2. Визначити наважку та об'єм пор в пресовці ( $D=26,5$  мм;  $H=26,6$  мм) з пористістю 17% , яка складається з 66% ванадію, 30% цирконію та 4% бору.

#### №10

1. Дати характеристику імпульсним методам формування порошкових виробів. Аналітичний опис імпульсних методів пресування.

2. Визначити об'єм пор, відносний об'єм ( $D=38,5$  мм;  $H=46$  мм) пресовки з пористістю 19% , яка складається з 71% карбіду титану, 20% цирконію та 9% бору.

#### №11

1. Розкрити причини можливого нерівномірного розподілу щільності по об'єму пресовки. Дати характеристику умовам та методам отримання пресовок з рівномірним розподілом щільності по їх об'єму.

2. Визначити щільність, відносну щільність та відносний об'єм пресовки у вигляді кубу  $10 \times 10 \times 10$  мм з пористістю 21% , яка складається з 71% молібдену, 20% ванадію та 9% кремнію.

#### №12

1. Дати характеристику рівнянь, які можуть бути використані для аналітичного опису порошкових матеріалів крихких матеріалів.

3. Визначити наважку та об'єм пресовки ( $D=12,5$  мм;  $H=16,5$  мм) з пористістю 16% , яка складається з 86% нікелю, 10% міді та 4% цинку. Визначити її відносну щільність і пористість.

#### №13

1. Розкрити сутність ізостатичних методів формування.

2. Визначити наважку для отримання пресовки ( $D=40$  мм;  $H=36$  мм) з пористістю 19% , яка складається з 86% міді, 10% олова та 4% свинцю. Визначити об'єм пресовки та об'єм пор в ній.

#### №14

1. Розкрити роль пластифікаторів при пресуванні виробів різними методами. Визначення властивостей пластифікованих сумішей при пресуванні порошкових виробів мударштучним та інжекційним формуванням.

2. Визначити наважку для отримання пресовки ( $D=24$  мм;  $H=16$  мм) з пористістю 18% , яка складається з 56% хрому, 35% титану та 9% силіцію. Визначити об'єм пор в пресовці.

#### №15

1. Дати характеристику бездеформаційним методам формування порошкових виробів без прикладення тиску.

2. Визначити щільність та відносну щільність пресовки ( $D=24$  мм;  $H=16$  мм) вагою 86 г., яка складається з 80% молібдену, 16% нікелю та 4% заліза і має пористість 18%. Визначити об'єм пор у пресовці.

#### №16

1. Дати характеристику процесів, які супроводжують процес ущільнення при імпульсному пресуванні. Методи отримання пресовок з рівномірним розподілом щільності по їх об'єму.

2. Визначити щільність, відносну щільність та відносний об'єм пресовки у вигляді кубу  $12 \times 12 \times 12$  мм з пористістю 20% , яка складається з 68% молібдену, 23% ванадію та 9% кремнію.

#### №17

1. Характеристика імпульсних методів пресування порошкових виробів.

2. Визначити щільність, відносну щільність та відносний об'єм пресовки ( $D=26$  мм;  $H=20$  мм) пористістю 21% , яка складається з 70% заліза, 26% міді та 4% вуглецю.

#### №18

1. Пресування прокаткою. Вплив різних чинників.

3. Визначити об'єм пор, відносний об'єм ( $D=42,5$  мм;  $H=40$  мм) пресовки з пористістю 16% , яка складається з 70% карбиду титану, 20% нікелю та 10% молібдену

#### №19

1. Розкрити сутність ізостатичних методів формування.

3. Визначити наважку для отримання пресовки ( $D=60$  мм;  $H=46$  мм) з пористістю 20% , яка складається з 88% міді, 18% олова та 4% свинцю. Визначити об'єм пресовки та об'єм пор в ній.

#### №20

1. Дати характеристику процесів, які супроводжують процес ущільнення при імпульсному пресуванні. Методи отримання пресовок з рівномірним розподілом щільності по їх об'єму.

3. Визначити щільність, відносну щільність та відносний об'єм пресовки у вигляді кубу 15x15x15 мм з пористістю 24% , яка складається з 70% молібдену, 21% ванадію та 9% кремнію.

#### №21

1. Розкрити роль пластифікаторів при пресуванні виробів різними методами. Визначення властивостей пластифікованих сумішей при пресуванні порошкових виробів мударним та інжекційним формуванням.

3. Визначити наважку та об'єм пор в пресовці ( $D=26.4$ мм;  $H=26,4$  мм) з пористістю 19% , яка складається з 60% ванадію, 36% цирконію та 4% бору.

#### №22

1. Розкрити вплив розміру та форми вихідних порошоків на процеси формування виробів з них при пресуванні різними методами.

2. Визначити наважку та об'єм пор в пресовці ( $D=18,5$  мм;  $H=16$  мм) з неї з пористістю 21% , яка складається з 76% хрому, 20% титану та 4% вуглецю.

#### №23

1. Розкрити роль пластифікаторів при пресуванні виробів різними методами. Визначення властивостей пластифікованих сумішей при пресуванні порошкових виробів мударним та інжекційним формуванням.

2. Визначити наважку та об'єм пор в пресовці ( $D=26,5$  мм;  $H=26,6$  мм) з пористістю 17% , яка складається з 66% ванадію, 30% цирконію та 4% бору.

#### №24

1. Дати характеристику імпульсним методам формування порошкових виробів. Аналітичний опис імпульсних методів пресування.

2. Визначити об'єм пор, відносний об'єм ( $D=38,5$  мм;  $H=46$  мм) пресовки з пористістю 19% , яка складається з 71% карбиду титану, 20% цирконію та 9% бору.

#### №25

1. Розкрити причини можливого нерівномірного розподілу щільності по об'єму пресовки. Дати характеристику умовам та методам отримання пресовок з рівномірним розподілом щільності по їх об'єму.

2. Визначити щільність, відносну щільність та відносний об'єм пресовки у вигляді кубу 10x10x10 мм з пористістю 21% , яка складається з 71% молібдену, 20% ванадію та 9% кремнію.