



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

# НАНОМАТЕРІАЛИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Шифр та назва спеціальності

136 – Металургія

Інститут

ННІ Механічної інженерії та транспорту

Спеціалізація

–

Кафедра

Ливарного виробництва (142)

Освітня програма

Металургійні процеси та системи

Тип дисципліни

Вибіркова.

Рівень освіти

Магістр

Форма навчання

Денна

Семестр

2

Мова викладання

Українська

## Викладачі, розробники



**Пономаренко Ольга Іванівна,**

[Olha.Ponomarenko@khpi.edu.ua](mailto:Olha.Ponomarenko@khpi.edu.ua)

доктор технічних наук, професор кафедри ливарного виробництва  
НТУ «ХПІ»

Досвід роботи – 35 років. автор більш ніж 380 науково- та навчально-методичних праць, з них 20 навчально-методичного характеру, 8 методичних посібників з грифом Міністерства України, 1 підручник, 3 монографії та 17 авторських свідоцтв і патентів.

Курси: «Формувальні матеріали і суміші», «Фізико-хімічні основи ливарного виробництва», «Теорія формування відливок», «Аналіз і синтез ливарних систем», «Ресурсозберігаючі технології та плавка сплавів зі спеціальними властивостями», «Конструювання литих виробів та оснащення», «Аддитивні технології у ливарному виробництві».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

У курсі лекцій розглядаються результати теоретичних та експериментальних досліджень впливу наноматеріалів (ультрадисперсних порошоків) на властивості металевих, полімерних та еластомірних матеріалів. Наведено фізико-хімічні характеристики ультрадисперсних карбідів та боридів, синтезованих у плазмовому потоці азоту.

Наведено технології підготовки та введення ультрадисперсних частинок у розплав, термодинаміка взаємодії їх з рідким металом, умови оптимального модифікування, що підвищує механічні та експлуатаційні властивості литого металу.

## Мета та цілі дисципліни

Мета курсу – надати майбутнім фахівцям глибоких теоретичних знань та практичних навичок по основним методам розробки сплавів з використанням наноматеріалів для підвищення їх механічні та експлуатаційні властивостей.

В результаті вивчення курсу студент повинен знати методику розробки сплавів з використанням наноматеріалів:

- вміти чітко сформулювати завдання на сплав;
- здійснити вибір основи сплаву;
- зробити вибір наноматеріалів;
- розробити метод вводу наноматеріалів в расплав металу;
- розробити технологію для конкретного сплаву;
- на основі планованого експерименту побудувати математичну модель сплаву та провести його оптимізацію;
- обґрунтувати з економічної точки зору вибраний сплав з використанням наноматеріалів та технологічний процес його одержання.

## Формат занять

Лекції, лабораторні роботи, розрахункове завдання, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – залік.

## Компетентності

ЗК1. Здатність проводити дослідження на відповідному рівні.

ЗК2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК3. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

ЗК4. Здатність працювати в міжнародному контексті.

ЗК 7. Прагнення до збереження навколишнього середовища.

СК1. Здатність розробляти та реалізовувати проекти в сфері металургії, а також дотичні до неї міждисциплінарні проекти.

СК2. Здатність враховувати технічні, правові, соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні аспекти інженерних та управлінських рішень в металургії.

СК3. Здатність забезпечувати якість в металургії.

СК4. Здатність аналізувати і вдосконалювати технологічні процеси в металургії.

СК5. Здатність науково обґрунтовувати вибір матеріалів, основного та допоміжного обладнання для реалізації металургійних технологій

СК 6 Здатність оцінювати технічні, економічні, екологічні, безпекові та інші ризики при плануванні або впровадженні нових технологічних процесів.

СК7. Здатність планувати і виконувати експериментальні дослідження в металургії та інтерпретувати їх результати.

СК11. Здатність проводити пошук та аналіз науково-технічної інформації за фахом, вивчення, вітчизняного й закордонного досвіду, структурувати та використовувати в дослідницькій діяльності

СК12. Здатність здійснювати оптимізацію технологічних процесів з метою отримання якісної продукції.

СК 13 Уміння здійснювати експериментальні дослідження у сфері металургійних процесів, опрацьовувати та аналізувати отримані результати, а також готувати їх до публікації.

## Результати навчання

РН1. Розробляти технологію виробництва на основі розуміння процесів, що відбуваються, з урахуванням особливостей виробництва та визначати оптимальний режим роботи обладнання з урахуванням наявних невизначеностей та ризиків.



PH2. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її, обрати оптимальні методи та здійснювати статистичний аналіз даних.

PH 5 Співвідносити хімічний склад, структуру і властивості матеріалів металургійного виробництва.

PH6. Формувати структуру і властивості продукції металургійного виробництва відповідно до потреб замовників.

PH7. Аналізувати енергетичну ефективність технологічних процесів та обладнання, відповідно до спеціалізації, та розробляти заходи з енергозбереження

PH 8 Пропонувати нові технічні рішення з урахуванням цілей та ресурсних обмежень, економічних, екологічних, правових та безпекових аспектів, розробляти і застосовувати нові металургійні технології.

PH 10 Застосовувати сучасні математичні методи, цифрові технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач і проблем металургії.

PH 15. Розуміння фізико-хімічних основ легування, мікролегування, модифікування та рафінування, впливу хімічного складу на структуроутворення і експлуатаційні властивості чорних і кольорових металів і сплавів.

PH 17. Розуміння властивостей новітніх конструкційних матеріалів та сучасних технологій виготовлення із них виробів

PH 18. Здатність аналізувати концептуальні, математичні та комп'ютерні моделі металургійних процесів і систем, а також ефективно застосовувати їх для генерації нових знань і розробки інноваційних рішень у металургії.

## Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредитів ECTS): лекції – 32 год., лабораторні роботи -16 год, самостійна робота –72 год. Курс передбачає підготовку розрахункового завдання за індивідуальною темою.

## Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Для успішного проходження курсу необхідно мати знання та практичні навички з наступних дисциплін: «Хімія», «Екологія», « Прикладне матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів», «Формувальні матеріали і суміші», «Фізико-хімічні основи ливарного виробництва», «Теорія формування відливок», «Ливарні сплави та технологія плавки», «Ресурсозберігаючі технології в ливарному виробництві», «Печі ливарних цехів».

## Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Лекції проводяться інтерактивно з використанням мультимедійних технологій. На заняттях використовується проєктний підхід до навчання, ігрові методи, акцентується увага на застосуванні інформаційних технологій в галузі адитивних технологій у ливарному виробництві. Навчальні матеріали доступні студентам через OneNote Class Notebook..

## Програма навчальної дисципліни

### Навчальні заняття

### Лекції

#### Теми лекцій

#### Кількість годин

**Вступ.** Значення та задачі ОК. Література. Історичні передумови появи потреби по використанню наноматеріалів. Огляд досягнень у сфері металургії і ливарного виробництва за останні роки. Сфера їх застосування.

1



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <b>Тема 1. Фундаментальні властивості наноматеріалів.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2 |
| Елементи стандартизації для наномасштабного рівня структурної організації. Шляхи формування наноструктур. Класифікація наноматеріалів. Нанокристалічний структурний стан. Структура та функціональні особливості міжкристалічної границі в наноматеріалах. Фізичні причини специфіки властивостей наночастинок і наноструктурних матеріалів. Класифікація нанооб'єктів. Класифікація нанооб'єктів за їх розмірністю. Кластери. Зародження та зростання кластерів. Структурні особливості нанокластерного стану матеріалу. Особливості формування структури у нерівноважних умовах.                                                                                                                                                                                                 |   |
| <b>Тема 2. Аморфні матеріали.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2 |
| Властивості аморфних металевих систем. Аморфні сплави.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |
| <b>Тема 3. Наноматеріали і нанопористі матеріали.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2 |
| Наноконпозиційні матеріали. Нанопористі матеріали.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |
| <b>Тема 4. Вуглець і вуглецеві матеріали.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4 |
| Вуглець як хімічний елемент. Поширеність вуглецю в природі. Коротка історія відкриття та вивчення атомарного вуглецю. Будова атому вуглецю, гібридизація його атомних орбіталей та характер утворюваних ним зв'язків. Алотропні форми вуглецю та матеріали на їх основі. Алмаз. Загальна характеристика алмазу. Історія отримання штучних алмазів. Карбін – наноалотропна форма вуглецю. Фулерени. Історія відкриття фулеренів. Види фулеренів, їх позначення та термінологія. Будова і властивості молекул фулеренів C <sub>60</sub> та C <sub>70</sub> . Кристалічна будова і основні фізичні властивості фулеритів C <sub>60</sub> та C <sub>70</sub> . Основні хімічні властивості фулеренів. Природні фулерени. Синтез похідних фулеренів. Виділення та розділення фулеренів. |   |
| <b>Тема 5. Сучасний стан та основні напрями застосування ультрадисперсних порошків тугоплавких сполук у металургії, ливарному виробництві та композиційному матеріалознавстві. Оцінка ефективності застосування ультрадисперсних порошків у технології модифікування сплавів.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2 |
| <b>Тема 6. Загальна характеристика ультрадисперсного стану тугоплавких карбідів та боридів.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3 |
| Кристалічна структура. Фазовий склад. Форма і розмір частинок. Властивості ультрадисперсних порошків, пов'язані зі станом поверхні. Особливості стану поверхні УДП. Взаємодія УДП з атмосферними газами. Забезпечення стабільності фазового і хімічного складу УДП під час зберігання. Коалесценція УДП у розчинах електролітів та способи її обмеження. Коагуляція УДП у розчинах електролітів та способи її запобігання. Термостійкість УДП до окиснення. Корозійна стійкість УДП.                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
| <b>Тема 7. Взаємодія частинок УДП з металевими розплавами.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 3 |
| Утворення суспензії. Фізична модель будови суспензії. Аналіз стійкості суспензії з частинками, плакованими металом. Ступінь гетерогенності розплаву під час утворення суспензії. Поведінка тугоплавкої частинки у перегрітому розплаві.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |   |
| <b>Тема 8. Підготовка порошків до введення в розплав</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3 |
| Методи активації частинок порошків. Аналіз режимів твердофазної активації порошків. Вплив умов введення УДП у розплави на структуру металу. Введення УДП у нікелеві сплави під час порційного плавлення і розливання у вакуумі. Введення УДП при відкритому плавленні і розливанні сталей та чавунів.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |
| <b>Тема 9. Вплив ультрадисперсних порошків на властивості чорних та</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4 |



**кольорових сплавів.**

Сплави на основі заліза. Сірий чавун. Зносостійкий високо-хромистий чавун. Середньо- та низьковуглецеві сталі. Нержавіючі хромонікелеві сталі. Властивості виливків зі сталі типу EI-268Л. Властивості виливків зі сталі 08X18H9БЛ.

**Тема 10. Жароміцні нікелеві сплави.**

3

Властивості сплаву ЖС-6У.. Властивості сплавів ЖС-6К, ЗМІ-3 і ЦНК-7. Властивості сплаву ЖС-ЗДК. Властивості сплаву ЖС-32 у виливках із монокристалічною структурою.

**Тема 11. Сплави на основі алюмінію.**

3

Спосіб введення УДП в алюмінієві сплави. Властивості напівбезперервних злитків з алюмінієвих сплавів. Властивості лігатурного сплаву алюміній-титан. Властивості ливарних алюмінієвих сплавів.

**Загальна кількість годин****32****Лабораторні заняття****Теми лабораторних занять**

**Кількість годин** **Вагові коефіцієнти а**

**Тема 1. Структура, властивості і застосування сплавів на основі алюмінію.**

3

1

Мета роботи - вивчити мікроструктури типових сплавів на основі алюмінію; встановити взаємозв'язок між складом, структурою та властивостями цих сплавів; вивчити вплив термічної обробки на структуру та властивості алюмінієвих сплавів та ознайомитися з галузями призначення.

**Тема 2. . Структура, властивості і застосування титану та сплавів на його основі**

3

1

Мета роботи - ознайомитись з властивостями, застосуванням, структурними методами підвищення питомої міцності, жароміцності та корозійної стійкості; самостійно провести дослідження мікроструктури та ливарних титанових сплавів.

**Тема 3. Вплив рафінування та модифікування на властивості алюмінієвих сплавів.**

4

1

Мета роботи - встановити вплив рафінування та модифікування на ливарні властивості алюмінієвого сплаву.

**Тема 4. Вивчення впливу хімічного складу ливарних сплавів на їх механічні властивості.** Мета роботи - засвоїти методику випробування на розтягнення, визначити вплив хімічного складу ливарних сплавів на межі міцності, текучості, пластичні властивості, модуль пружності, теоретичну міцність.

3

1

**Тема 5. Плавка сплавів на основі міді.**

3

1

**Загальна кількість годин****16**

$$\sum_{i=1}^n a_i = 5$$



## Практичні заняття

Практичні заняття в рамках ОК не передбачені.

## Контрольні роботи

Контрольні роботи з курсу «Наноматеріали та нанотехнології у ливарному виробництві»

Вагові  
коефіцієнти *b*

### Модульна контрольна робота № 1

1

1. Які історичні передумови зумовили появу потреби у використанні наноматеріалів у науці та техніці?
2. Які основні досягнення у сфері металургії та ливарного виробництва, пов'язані з наноматеріалами, отримано за останні роки?
3. У яких галузях металургії та ливарного виробництва наноматеріали знайшли найбільше застосування?
4. Які перспективні напрями подальшого використання наноматеріалів у металургії та матеріалознавстві можна визначити сьогодні?
5. Які основні напрями прикладних досліджень, що визначають модель розвитку техніки та технології?
6. Назвіть основні напрями еволюції матеріалознавчого базису.
7. Пояснити структуру термінології в галузі нанотехнологій.
8. Дати пояснення термінам «нанонаука», «наносистема», «наноматеріали», «наночастинка», «нанодіагностика», «наносистемотехніка», «нанотехніка», «нанотехнологія».
9. Назвати основні етапи розвитку нанотехнологій.
10. Описати шляхи формування наноструктур, та на яких принципах вони базуються.
11. Привести класифікацію наноматеріалів.
12. Написати формулу для оцінки доли міжзеренних границь розділу у загальному об'ємі часток у наближенні для сферичної форми зерна.
13. Пояснити фізичні причини специфіки властивостей наночастинок і наноструктурних матеріалів.
14. Що таке «кластер»?
15. Які передумови створення кластерів?
16. Назвіть структурні особливості нанокластерного стану матеріалу.
17. Визначте, що називається магічним числом атомів у кластері та наведіть приклади.
18. Які особливості формування структури в нерівноважних умовах?
19. Дати визначення самоорганізації та дисипативної структури.
20. Назвати дві можливості спонтанного виникнення упорядкованих наноструктур та описати типи структур, які можуть утворюватися.
21. Дайте визначення аморфного стану твердого тіла.
22. Схарактеризуйте близький і дальній порядок у твердому тілі.
23. Назвіть основні умови склоутворення.
24. Назвіть основні способи отримання аморфних сплавів.
25. Назвіть основну відмінність понять «аморфний стан» і «склоподібний стан».
26. Що таке наноконпозиційний матеріал?
27. У чому полягає відмінність металевого наноконпозиту від полімерного?
28. Які існують типи наноконпозитів?
29. Як змінюються магнітні властивості полімерних конпозитів?
30. Наведіть приклади формування металополімерних наноконпозитів.
31. Перерахуйте типи нанопористих матеріалів.
32. Чим характеризується пористість?



- 
33. Визначте сучасну ключову проблему у створенні нанопористих матеріалів.
  34. Назвіть і схарактеризуйте види взаємодії нанопористих матеріалів з навколишнім середовищем.
  35. Що таке цеоліти і де вони застосовуються?
  36. У чому суть теорії флогістону, що існувала в хімії у XVIII столітті? Як з позицій цієї теорії тоді пояснювали природу вугілля?
  37. Хто з відомих вчених вніс значний внесок у спростування теорії флогістону і доказ того, що різні вуглецеві речовини (вугілля, графіт, алмаз) складаються з однакових атомів вуглецю?
  38. З яких двох стабільних ізотопів складається природний вуглець і яке їх кількісне співвідношення в природі?
  39. Для чого використовується метод радіовуглецевого датування і в чому полягає його суть?
  40. Яку електронну конфігурацію має атом вуглецю в основному і збудженому станах? Яка у нього валентність у цих станах?
  41. Що таке гібридизація атомних орбіталей? Які типи гібридизації атомних орбіталей мають атоми вуглецю в карбіні, графіті, алмазі? Зобразіть схематично взаємну орієнтацію в просторі гібридизованих орбіталей у цих вуглецевих матеріалах.
  42. За рахунок чого утворюється  $\sigma$ - і  $\pi$ - зв'язок між атомами вуглецю? Як перекриваються атомні орбіталі при утворенні цих зв'язків?
  43. Що таке алотропія? Які алотропні модифікації відомі для вуглецю?
  44. Схарактеризуйте структуру графіту. Кристалічні решітки яких типів може мати графіт?
  45. Що таке нанографіт?
  46. Назвіть галузі застосування графіту і нанографіту.
  47. Кристалічні решітки яких типів може мати алмаз? Чим обумовлена особлива міцність алмазу?
  48. Що таке наноалмази і яку розмірність вони можуть мати?
  49. Назвіть галузі застосування алмазів і наноалмазів.
  50. Викладіть стисло історію отримання штучних алмазів. Чим у цьому контексті відомі імена В. Н. Каразіна, О. І. Лейпунського, Е. Лундблада, Л. Ф. Верещагіна?
  51. Що таке карбін і ким його вперше було штучно синтезовано? У чому суть дискусій учених щодо карбіну як самостійної алотропної форми вуглецю? Чому висунуто пропозицію вважати карбін наноалотропною формою вуглецю?
  52. Викладіть стисло історію відкриття фулеренів і в якому фізичному експерименті це було зроблено?
  53. Дайте визначення таких термінів: фулерени, фулерити, фулериди, ендофулерени, екзофулерени, гетерофулерени.
  54. Яку форму має усічений ікосаедр і яке відношення до нього має молекула фулерену C<sub>60</sub>?
  55. Які елементи симетрії має молекула фулерену C<sub>60</sub>?
  56. У чому полягає правило ізольованих п'ятикутників?
  57. Які типи кристалічних решіток може мати фулерит C<sub>60</sub>?
  58. Схарактеризуйте основні фізичні і хімічні властивості фулеренів і матеріалів на їх основі.
  59. Що таке метод Кретчмера і в чому він полягає?
  60. Які різновиди має плазмовий метод отримання фулеренів?
  61. Які методи нагрівання і випаровування вуглецю використовуються в технологіях отримання фулеренів?
  62. У чому суть отримання фулеренів у полум'ї і CVD-синтезу фулеренів?
  63. В яких земних породах виявлені фулерени?
- 



- 
64. Як отримують похідні фулеренів – ендофулерени, екзофулерени, гетерофулерени?
  65. Які відомі методи виділення фулеренів з сажі і поділу їх за молекулярною масою?
  66. Де і як можуть застосовуватися фулерени?
  67. Які основні методи отримання ультрадисперсних порошків тугоплавких сполук застосовуються в сучасній металургії та матеріалознавстві?
  68. У чому полягають особливості впливу ультрадисперсних порошків на структуру та властивості ливарних сплавів?
  69. Які тугоплавкі сполуки найчастіше використовуються у вигляді ультрадисперсних порошків для модифікування металевих розплавів?
  70. Як ультрадисперсні порошки впливають на процеси кристалізації та формування мікроструктури сплавів?
  71. Які переваги й недоліки застосування ультрадисперсних порошків у порівнянні з традиційними методами модифікування сплавів?
  72. У яких напрямках композиційного матеріалознавства найбільш ефективно використовуються ультрадисперсні порошки тугоплавких сполук?
  73. Які критерії оцінки ефективності використання ультрадисперсних порошків у технології модифікування сплавів?
  74. Які сучасні тенденції та перспективи розвитку технологій застосування ультрадисперсних порошків у металургії та ливарному виробництві?
  75. Які основні структурні особливості ультрадисперсних порошків (УДП) тугоплавких карбідів та боридів?
  76. Як кристалічна структура впливає на фізико-механічні властивості УДП карбідів і боридів?
  77. Які фактори визначають фазовий склад ультрадисперсних порошків та його стабільність під час зберігання?
  78. Які методи використовуються для дослідження форми і розмірів частинок УДП?
  79. Які властивості ультрадисперсних порошків безпосередньо пов'язані зі станом їх поверхні?
  80. У чому полягають особливості стану поверхні УДП карбідів та боридів у порівнянні з іншими тугоплавкими сполуками?
  81. Як відбувається взаємодія ультрадисперсних порошків з атмосферними газами і які процеси при цьому переважають?
  82. Які механізми коалесценції УДП у розчинах електролітів і які методи застосовуються для її обмеження?
  83. У чому полягає різниця між коалесценцією та коагуляцією УДП у розчинах електролітів та як запобігти цим процесам?
  84. Які фактори визначають термостійкість УДП до окиснення та їх корозійну стійкість у різних середовищах?
  85. Які основні механізми взаємодії частинок ультрадисперсних порошків (УДП) з металевими розплавами?
  86. Які фактори визначають умови утворення суспензії УДП у розплавленому металі?
  87. У чому полягає фізична модель будови суспензії з УДП у металевому розплаві?
  88. Як впливає розмір і форма частинок УДП на стійкість утвореної суспензії?
  89. Яким чином плакування частинок металом змінює їх поведінку у розплаві?
  90. Як оцінюється стійкість суспензії з плакованими металом частинками?
  91. Які чинники визначають ступінь гетерогенності металевого розплаву при введенні в нього УДП?
  92. Які процеси відбуваються на межі розділу «тугоплавка частинка –



---

перегрітий розплав»?

93. Як температура перегріву розплаву впливає на диспергування та розподіл частинок УДП у суспензії?

94. Які практичні методи застосовуються для підвищення рівномірності розподілу і стабільності суспензії УДП у металевих розплавах?

95. Які основні етапи підготовки ультрадисперсних порошків (УДП) перед введенням у металеві розплави?

96. У чому полягає сутність методів активації частинок порошків перед їх використанням?

97. Які відмінності між механічною, хімічною та термічною активацією порошків?

98. Що розуміють під твердофазною активацією УДП та які її основні механізми?

99. Які режими твердофазної активації застосовуються у металургії та як вони впливають на властивості частинок?

100. Як умови введення УДП у розплави впливають на зародження і ріст кристалів у металі?

101. Яким чином УДП змінюють структуру та властивості металу під час кристалізації?

102. Які особливості введення УДП у нікелеві сплави при порційному плавленні у вакуумних умовах?

103. Чому вакуумне плавлення є більш ефективним для введення УДП у високолеговані сплави?

104. Які технологічні труднощі виникають при введенні УДП під час відкритого плавлення сталей та чавунів?

105. Які методи використовуються для забезпечення рівномірного розподілу УДП у сталях і чавунах під час відкритого плавлення?

106. Який вплив введення УДП у металеві розплави на кінцеві властивості литих виробів (механічні, корозійні, термостійкі)?

---

## **Модульна контрольна робота № 2**

1

1. Які основні методи отримання ультрадисперсних порошків тугоплавких сполук застосовуються в сучасній металургії та матеріалознавстві?

2. У чому полягають особливості впливу ультрадисперсних порошків на структуру та властивості ливарних сплавів?

3. Які тугоплавкі сполуки найчастіше використовуються у вигляді ультрадисперсних порошків для модифікування металевих розплавів?

4. Як ультрадисперсні порошки впливають на процеси кристалізації та формування мікроструктури сплавів?

5. Які переваги й недоліки застосування ультрадисперсних порошків у порівнянні з традиційними методами модифікування сплавів?

6. У яких напрямках композиційного матеріалознавства найбільш ефективно використовуються ультрадисперсні порошки тугоплавких сполук?

7. Які критерії оцінки ефективності використання ультрадисперсних порошків у технології модифікування сплавів?

8. Які сучасні тенденції та перспективи розвитку технологій застосування ультрадисперсних порошків у металургії та ливарному виробництві?

9. Які основні структурні особливості ультрадисперсних порошків (УДП) тугоплавких карбідів та боридів?

10. Як кристалічна структура впливає на фізико-механічні властивості УДП карбідів і боридів?

11. Які фактори визначають фазовий склад ультрадисперсних порошків та його стабільність під час зберігання?

12. Які методи використовуються для дослідження форми і розмірів частинок

---



---

УДП?

13. Які властивості ультрадисперсних порошків безпосередньо пов'язані зі станом їх поверхні?
14. У чому полягають особливості стану поверхні УДП карбідів та боридів у порівнянні з іншими тугоплавкими сполуками?
15. Як відбувається взаємодія ультрадисперсних порошків з атмосферними газами і які процеси при цьому переважають?
16. Які механізми коалесценції УДП у розчинах електролітів і які методи застосовуються для її обмеження?
17. У чому полягає різниця між коалесценцією та коагуляцією УДП у розчинах електролітів та як запобігти цим процесам?
18. Які фактори визначають термостійкість УДП до окиснення та їх корозійну стійкість у різних середовищах?
19. Які основні механізми взаємодії частинок ультрадисперсних порошків (УДП) з металевими розплавами?
20. Які фактори визначають умови утворення суспензії УДП у розплавленому металі?
21. У чому полягає фізична модель будови суспензії з УДП у металевому розплаві?
22. Як впливає розмір і форма частинок УДП на стійкість утвореної суспензії?
23. Яким чином плакування частинок металом змінює їх поведінку у розплаві?
24. Як оцінюється стійкість суспензії з плакованими металом частинками?
25. Які чинники визначають ступінь гетерогенності металевого розплаву при введенні в нього УДП?
26. Які процеси відбуваються на межі розділу «тугоплавка частинка – перегрітий розплав»?
27. Як температура перегріву розплаву впливає на диспергування та розподіл частинок УДП у суспензії?
28. Які практичні методи застосовуються для підвищення рівномірності розподілу і стабільності суспензії УДП у металевих розплавах?
29. Які основні етапи підготовки ультрадисперсних порошків (УДП) перед введенням у металеві розплави?
30. У чому полягає сутність методів активації частинок порошків перед їх використанням?
31. Які відмінності між механічною, хімічною та термічною активацією порошків?
32. Що розуміють під твердофазною активацією УДП та які її основні механізми?
33. Які режими твердофазної активації застосовуються у металургії та як вони впливають на властивості частинок?
34. Як умови введення УДП у розплави впливають на зародження і ріст кристалів у металі?
35. Яким чином УДП змінюють структуру та властивості металу під час кристалізації?
36. Які особливості введення УДП у нікелеві сплави при порційному плавленні у вакуумних умовах?
37. Чому вакуумне плавлення є більш ефективним для введення УДП у високолеговані сплави?
38. Які технологічні труднощі виникають при введенні УДП під час відкритого плавлення сталей та чавунів?
39. Які методи використовуються для забезпечення рівномірного розподілу УДП у сталях і чавунах під час відкритого плавлення?



40. Який вплив введення УДП у металеві розплави на кінцеві властивості литих виробів (механічні, корозійні, термостійкі)?

**Загалом**

$$\sum_{i=1}^n b_i = 2$$

### Самостійна робота

Курс передбачає виконання індивідуального розрахункового завдання на основі теоретичних знань та практичних навичок по методам розробки сплавів з використанням наноматеріалів для підвищення їх механічних та експлуатаційних властивостей.

Результат розрахунків оформлюється у письмовий звіт. Студентам також рекомендуються додаткові матеріали для самостійного вивчення та аналізу.

### Опрацювання теоретичного матеріалу

#### Теми для самостійного вивчення

#### Кількість годин

**Тема 1.** Сучасний стан застосування ультрадисперсних порошків тугоплавких сполук у ливарному виробництві та композиційному матеріалознавстві.

2

**Тема 2.** Загальна характеристика ультрадисперсного стану тугоплавких карбідів та боридів.

6

Коалесценція УДП у розчинах електролітів та способи її обмеження. Коагуляція УДП у розчинах електролітів та способи її запобігання. Термостійкість УДП до окиснення. Корозійна стійкість УДП..

**Тема 3.** Взаємодія частинок УДП з металевими розплавами.

6

Утворення суспензії. Поведінка тугоплавкої частинки у перегрітому розплаві.

**Тема 4.** Підготовка порошків до введення в розплав

6

Методи активації частинок порошків. Введення УДП у нікелеві сплави під час порційного плавлення і розливання у вакуумі. Введення УДП при відкритому плавленні і розливанні сталей та чавунів.

**Тема 5.** Вплив ультрадисперсних порошків на властивості чорних та кольорових сплавів.

4

Сплави на основі заліза. Зносостійкий високо-хромистий чавун.. Нержавіючі хромонікелеві сталі. Властивості виливків зі сталі типу EI-268Л.

**Тема 6.** Жароміцні нікелеві сплави.

6

Властивості сплаву ЖС-6У.. Властивості сплаву ЖС-32 у виливках із монокристалічною структурою.

**Тема 7.** Сплави на основі алюмінію.

6

Властивості лігатурного сплаву алюміній-титан. Властивості ливарних алюмінієвих сплавів.

**Загальна кількість годин**

**36**

### Тематика індивідуальних завдань

Виконання розрахункового завдання передбачає виконання індивідуального розрахункового завдання з наведенням використання наноматеріалів та нанотехнологій у ливарному виробництві. відповідно до мети навчальної дисципліни. Здобувач обирає конкретну тему в межах загальної тематики за погодженням з викладачем. Обсяг звіту: 8–12 сторінок основного тексту. Звіт має бути оформлений відповідно до вимог, наведених у літературному джерелі [8]. Завдання виконується протягом навчальних тижнів і подається на перевірку до екзамену.



**Тема 1. Розрахунок оптимальної концентрації нанодобавок у розплаві**

Визначення вмісту наночастинок (наприклад,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , TiC, SiC) для покращення механічних властивостей сплаву. Навести список використаної літератури.

**Тема 2. Оцінка впливу наночастинок на зміну структури сплаву**

Розрахунок зменшення середнього розміру зерна при введенні заданої кількості наночастинок. Навести список використаної літератури.

**Тема 3. Розрахунок питомої поверхні нанопорошку.**

Визначення поверхні контакту при відомому діаметрі та масі наночастинок. Навести список використаної літератури.

**Тема 4. Енергетичний розрахунок диспергування нанопорошків**

Обчислення необхідної енергії для рівномірного розподілу наночастинок у розплаві. Навести список використаної літератури.

**Тема 5. Розрахунок ефективності модифікування сплавів нанодобавками.**

Визначення підвищення міцності, твердості та зносостійкості при використанні наноматеріалів. Навести список використаної літератури.

**Тема 6. Розрахунок теплопровідності композитних матеріалів із наночастинами**

Оцінка зміни теплопровідності при різних концентраціях нанодобавок. Навести список використаної літератури.

**Тема 7. Оцінка впливу наночастинок на кристалізаційні процеси**

Визначення швидкості зародкоутворення та росту кристалів у сплаві з урахуванням наночастинок. Навести список використаної літератури.

**Тема 8. Розрахунок економічної ефективності використання нанотехнологій у ливарному виробництві.**

Аналіз витрат на нанодобавки та очікуваний приріст властивостей і довговічності деталей. Навести список використаної літератури.

**Загальна кількість годин**

**36**

## Література та навчальні матеріали

### Основна література

1. **Металургія рідкісних металів:** підручник / І.Ф.Червоний, І.В. Пітак, О.І. Пономаренко та інші. – Харків: «Друкарня Мадрид», 2019. – 162с.
2. Ponomarenko, O., Yevtushenko, N., Akimov, O., Vasilets, V., Lopes, H. (2025). Study of the Laws of Random Fluctuations in the Parameters of Foundry Processes and the Quality of Castings. In: Machado, J., Trojanowska, J., Ottaviano, E., Xavior, M.A., Valášek, P., Basova, Y. (eds) Innovations in Mechanical Engineering IV. *icieng* 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-93554-1\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-031-93554-1_36)
3. Пантейков С.П. Спеціальна металургія сталей і сплавів. Т.2. Процеси спеціальної металургії: навч. посібник. / С.П. Пантейков, М.А. Кашеев – Кам'янське: ДДТУ. 2022. – 273с.
4. Пантейков С.П. Спеціальна металургія сталей і сплавів. Т.1. Процеси спеціальної металургії: навч. посібник. / С.П. Пантейков, М.А. Кашеев – Кам'янське: ДДТУ. 2021. – 118с.
5. Позапічне оброблення сталі: способи, процеси, технології [Текст] / В.О. Шаповалов, Ф.К. Біктагіров, В.Г. Могилаченко – К.: Хімджест, 2023. – 360с.
6. Трен'єв М. С. Аналіз способів вводу наночастинок в сплави на основі алюмінію. / М.С. Трен'єв, О.І. Пономаренко, Князєв С.А. // Метал та лиття України – 2025. – Том 33. – № 1 (340). – С. 25-31. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2025.01.025>



## Додаткова література

7. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Наноматеріали та нанотехнології у ливарному виробництві» [Електронний ресурс] : для студентів денної та заочної форми навчання за спец. G10 "Металургія" / уклад.: Пономаренко О. І., Масалітіна О. В, Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Електрон. текст. дані. – Харків : НТУ "ХПІ", 2025. –30 с.

8.Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Наноматеріали та нанотехнології у ливарному виробництві» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності G10 «Металургія» / уклад. Пономаренко О. І. –Х.: НТУ «ХПІ», 2025 – 24 с.

9..Tatiana Lysenko, Kyryll Kreitser, Evgeny Kozishkurt, Vadym Dotsenko, Olga Ponomarenko (2022) New Technology for Producing Castings from Magnesium Alloys with Increased Corrosion Resistance (Новая технология получения отливок из магниевых сплавов с повышенной коррозионной стойкостью). International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2022, June 7–10, 2022, Poznan, Poland – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. Pages 445-454. Springer, Cham. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85131956683&origin=resultslist&sort=plf-f>

10. Калініна Н. Є. Дослідження процесу модифікування ливарних алюмінієвих сплавів./ Н. Є. Калініна, Т. В Носова., С. І Мамчур., Н. І. Цокур, М. О.Комаров. //Вісник ХНАДУ–2021. – Вип.94. – С. 55-58. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.94.0.55

11. Структурування гетерофазних сплавів на основі чавунів, легованих міддю: колективна монографія / Д.А. Гусачук, І.О. Парфентьева, М.В. Дмитріюк, Ю.П. Фещук. – Луцьк : ЛНТУ, 2022. – 177 с.

## Система оцінювання

Підсумкова оцінка з освітнього компонента визначається відповідальним лектором за темами, видами занять, тощо відповідно до силабусу і є інтегральною оцінкою результатів усіх вид навчальної діяльності здобувача вищої освіти. Підсумкова оцінка повинна відображати всі оцінки за складовими навчального процесу з урахуванням їх вагових показників  $k$ :

| Поточний контроль<br>(практичні та<br>лабораторні роботи), $k_1$ | Контрольні роботи<br>(за наявності), $k_2$ | Індивідуальне<br>завдання<br>(за наявності), $k_3$ | Підсумковий контроль<br>(для ОК з заліком), $k_4$ |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 0,2                                                              | 0,4                                        | 0,3                                                | 0,1                                               |

Сума коефіцієнтів повинна складати одиницю:  $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1$ . Підбір вагових коефіцієнтів підсумкової оцінки здійснює розробник курсу.

Розрахунок підсумкової оцінки проводиться за формулою:

$$O = П \cdot k_1 + K \cdot k_2 + I \cdot k_3 + Пк \cdot k_4,$$

де:  $П$  – середньозважена середня оцінка за поточний контроль,

$I$  – оцінка за виконання індивідуального завдання,

$K$  – середньозважена оцінка за контрольні роботи,

$Пк$  – оцінка за підсумковий контроль.

$$П = \frac{П_1 \cdot a_1 + П_2 \cdot a_2 + \dots + П_n \cdot a_n}{\sum_{i=1}^n a_i},$$

де:  $a_i$  - ваговий коефіцієнт за практичне або лабораторне заняття.

$$K = \frac{K_1 \cdot b_1}{\sum_{i=1}^n b_i},$$

де:  $b_i$  - ваговий коефіцієнт за контрольну роботу.



Поточні оцінки за кожну складову (П, К, І,...) виставляються за 100-бальною шкалою згідно з положенням «Про критерії та систему оцінювання знань та вмінь і про рейтинг здобувачів вищої освіти» НТУ «ХПІ».

Підсумкова оцінка виставляється відповідно до розрахованої О з округленням до найближчого цілого числа в більшу сторону.

### Шкала оцінювання

| Сума балів | Національна оцінка                            | ECTS |
|------------|-----------------------------------------------|------|
| 90–100     | Відмінно                                      | A    |
| 82–89      | Добре                                         | B    |
| 75–81      | Добре                                         | C    |
| 64–74      | Задовільно                                    | D    |
| 60–63      | Задовільно                                    | E    |
| 35–59      | Незадовільно<br>(потрібне додаткове вивчення) | FX   |
| 1–34       | Незадовільно<br>(потрібне повторне вивчення)  | F    |

## Норми академічної етики і політика курсу

Здобувач вищої освіти повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту.

Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

Силабус погоджено

30.06.2025

Дата погодження, підпис

Завідувач кафедри

Ольга ПОНОМАРЕНКО

30.06.2025 Дата погодження,  
підпис

Гарант ОП

Дмитро ДЬОМІН

