



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

# АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Шифр та назва спеціальності  
136 – Металургія

Інститут  
ННІ Механічної інженерії та транспорту

Освітня програма  
Металургійні процеси та системи

Кафедра  
Ливарного виробництва (142)

Рівень освіти  
Другий (магістерський)

Тип дисципліни  
Вибіркова

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 Міносвіти 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».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

У курсі лекцій представлено інформацію про основні поняття та завдання дисципліни.

Розглянуто адитивні технології або Additive Manufacturing (АДтехнології), що передбачають виготовлення виробу за даними цифрової моделі (або САД-моделі) методом пошарового додавання (add, англ. – додавати, звідси і назву) матеріалу.

Наведено класифікацію адитивних технологій, загальні відомості про основні види АД-технологій, виробників АДмашин, тенденції розвитку та приклади практичного використання АД-технологій у промисловості. Описано закономірності створенням нової продукції та організацією сучасного промислового виробництва при використанні адитивних технологій.

## Мета та цілі дисципліни

Мета курсу - дати майбутнім фахівцям знання про основні види адитивних технологій, що передбачають виготовлення виробів по САД-моделі або методом пошарового нарощування матеріалу та вміння розробки адитивної технології для конкретного виробу.

В результаті вивчення курсу студент повинен знати:

- класифікацію адитивних технологій;
- вміти правильно вибрати адитивну технологію для виробництва вилівка, оснастки, форми в залежності від вимог замовника;
- розробити адитивну технологію для конкретного виробу;
- вибрати спосіб виготовлення, вибрати матеріал моделі, форми;
- обґрунтувати з економічної точки зору вибраний технологічний процес.

## Формат занять

лекції, практичні 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.

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

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.

## 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.

РН2. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її, обирати оптимальні методи та здійснювати статистичний аналіз даних.

РН5 Співвідносити хімічний склад, структуру і властивості матеріалів металургійного виробництва.

РН6. Формувати структуру і властивості продукції металургійного виробництва відповідно до потреб замовників.

РН7. 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.

## Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредитів ECTS): лекції – 32 год., практичні 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: «Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка», «CAD/CAM/CAE системи», «Теорія формування відливок», «Робочі процеси сучасних виробництв», «Ресурсозберігаючі технології та плавка сплавів зі спеціальними властивостями», «Конструювання литих виробів та оснащення», «Ресурсозберігаючі технології в ливарному виробництві».

## 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

### Теми лекційних занять

**Вступ.** Значення та задачі дисципліни. Література. Історичні передумови появи адитивних технологій. Огляд досягнень у сфері 3D-друку за останні роки. Адитивні технології та сфера їх застосування.

**Тема 1. Термінологія та класифікація по адитивним технологіям у виробництві.** Класифікація: за типом будівельних матеріалів Класифікація: за ключовою технологією: лазерні та нелазерні.

**Тема 2. Види технологій**

Bed Deposition технології: SLS- та SLA-технології. Bed Deposition: SLM – Selective Laser Melting (компанія SLM Solutions, Німеччина);

DMLS – Direct Metal Laser Sintering (компанія EOS, Німеччина); EBM – Electron Beam Melting (компанія Arcam, Швеція); Laser Cusing (компанія Concept Laser, Німеччина); SPLS – Solid Phase Laser Sintering (компанія Phenix Systems, Франція, в справжнє час придбано компанією 3D Systems); Ink-Jet або Binder Jetting (компанії ExOne, 3D Systems, США) та ін.

Direct Deposition технології. Технології Direct Deposition: DMD - Direct Metal Deposition (компанія POM, США); LENS – Laser Engineered Net Shape (компанія Optomec, США); DM - Direct Manufacturing (компанія Sciaky, США); MJS - Multiphase Jet Solidification (компанії Fraunhofer IFAM, Німеччина; FDM, США) та ін.

**Тема 3. Класифікація ASTM** за категоріями: Material Extrusion, Material Jetting, Binder Jetting, Sheet Lamination, Vat Photopolymerization, Powder Bed Fusion, Directed energy deposition.

**Тема 4. Адитивної технології у машинобудівних галузях.**

АД-технології: SLA, Stereolithography Apparatus – затвердіння шару фотополімеру за допомогою лазерного променя; SLS, Selective Laser Sintering – пошарове лазерне спікання порошкових матеріалів, зокрема полімерів; DMF, Direct Metal Fabrication – різновид SLS-технології, пошарове лазерне спікання металопорошкових композицій; іноді називають DMLS, Direct Metal Laser Sintering; SLM, Selective Laser Melting – різновид SLS-технології, пошарове лазерне плавлення металопорошкових композицій; DLP, Digital Light Procession – засвітлення шару фотополімеру за



допомогою цифрового прожектора; Poly-Jet – нанесення шару фотополімеру через багатосоплову голівку та його затвердіння за допомогою засвітки ультрафіолетовою лампою; FDM, Fused Deposition Modeling – пошарове накладання розплавлених ниткоподібних полімерів; Ink-Jet – затвердіння шару порошкового матеріалу шляхом нанесення сполучного складу через багатосоплову голівку (за типом струминного 3D-принтера).

#### **Тема 5. Характеристика ринку АД-технологій.**

Ринок АД-технологій, зокрема 3D-принтерів. «Аматорські» та «професійні» 3D-принтери.

#### **Тема 6. Критерії вибору АД-технологій.**

Критерії: вартість придбання; продуктивність; якість поверхні моделі; ступінь деталізації (здатність побудувати дрібні фрагменти); точність побудови; трудомісткість пост-обробки; стабільність модельного матеріалу; термін служби машини (принтера) до заміни основних вузлів; вартість модельних (будівельних та допоміжних) матеріалів; надійність та строки поставки витратних матеріалів та запасних частин; розвиненість служби технічної підтримки у регіоні; вартість поточного технічного обслуговування машини; вартість сервісного договору (в пост-гарантійний період); надійність та довговічність машини; час життя основних вузлів до заміни чи капремонту; необхідна кваліфікація та, відповідно, вартість обслуговуючого персоналу, а також необхідна площа інсталяції та інженерна інфраструктура.

#### **Тема 7. Адитивні технології та швидке прототипування.**

Завдання швидкого прототипування. Технології SLS, DLP, Poly-Jet та ін., що використовують рідкий фотополімер як модельний матеріал. Порівняння шорсткостей моделей, отриманих різними методами. Виготовлення "швидкого оснащення" - "rapid tooling" АД-технологіями.

Фірми-виробники найпопулярніших принтерів для прототипування.

#### **Тема 8. Технології та машини для вирощування металлических изделий**

Машини та обладнання для «виросування» з металу. Розподіл машин та обладнання на групи: «Bed Deposition» та «Direct Deposition».

Машини, обладнання та технології групи «Bed Deposition» компаній: Компанія Concept Laser, Компанія EOS, Компанія 3D Systems(США). Компанія SLM Solutions(Німеччина), Компанія Realizer(Німеччина), Компанія Renishaw, Компанія Arcam, Компанія Matsuura Machinery.

Технології Sheet Lamination (група Bed Deposition), Основні параметри машин для пошарового синтезу із металопорошкових композицій (група «Bed Deposition»).

Машини, обладнання та технології групи «Direct Deposition» компаній: Компанія POM Group (США), Optomec (США), Irep Laser (Франція), InssTek (Південна Корея), Sciaky (США). Основні параметри машин для пошарового синтезу із металопорошкових композицій, група «Direct Deposition».

#### **Тема 9. Адитивні технології та ливарне виробництво**

Технології лиття металів з використанням синтез-моделей та синтез-форм. Синтез-моделі із порошкових полімерів, технологія SLS. Машини для технології пошарового синтезу моделей із полімерних порошкових матеріалів у ливарному виробництві. Ink-Jet-технологія.

Синтез-моделі із світлозатверджуваних смол. SLA – лазерна стереолітографія.

Використання стереолітографії при вирощуванні ливарних моделей; виготовлення майстер-моделей (для подальшого одержання силіконових форм, воскових моделей та виливків із поліуретанових смол); створення дизайн-моделей, макетів та функціональних прототипів; виготовлення повнорозмірних та масштабних моделей для гідродинамічних, аеродинамічних, міцнісних та інших видів досліджень,

Quick-Cast-моделі Переваги технології Quick-Cast.

Номенклатура модельних матеріалів: VisiJet Flex, VisiJet Tough – ABS, VisiJet Clear, VisiJet HiTemp , VisiJet e-Stone.

Основні параметри SLA-машин компанії 3D Systems.

Технологія DLP – Digital Light Procession для отримання якісної цифрової проєкції. ММ-технологія. Отримання «восковок» - воскоподібні синтез-моделі для подальшого лиття за моделями, що виплавляються.

#### **Тема 10. Технології та машини для синтезу піщаних ливарних форм.**

Загальні відомості про технології синтезу піщаних форм.



Технології для виробництва піщаних ливарних форм: АД-технологія пошарового спікання плакованого піску лазерним променем (фірма EOS) та пошарового нанесення сполучного складу, або Ink-Jet-технологія (ExOne). Технологія фірми EOS (Німеччина) є різновидом SLS-технології. Машина для синтезу піщаних форм. Машина для пошарового синтезу піщаних форм та стрижнів. Оснащення ливарної ділянки для ефективного використання адитивних технологій.

#### **Тема 10. Технології та машини для синтезу піщаних ливарних форм.**

Загальні відомості про технології синтезу піщаних форм.

Технології для виробництва піщаних ливарних форм: АД-технологія пошарового спікання плакованого піску лазерним променем (фірма EOS) та пошарового нанесення сполучного складу, або Ink-Jet-технологія (ExOne). Технологія фірми EOS (Німеччина) є різновидом SLS-технології.

Машина для синтезу піщаних форм. Машина для пошарового синтезу піщаних форм та стрижнів. Оснащення ливарної ділянки для ефективного використання адитивних технологій.

### **Теми практичних занять**

#### **Тема 1. Використання адитивних технологій на сучасних підприємствах.**

Мета роботи: ознайомитись з основними поняттями, термінами і методами 3D-друку та можливостями їх реалізації на виробництві.

**Тема 2. Побудова 3D-моделі деталі за визначеними габаритними розмірами.** Мета роботи: побудувати 3D-модель деталі в CAD системі за вибором студента (можливі системи – Solidworks, Аскон-Компас, Autodesk Inventor або будь-які інші).

**Тема 3. Побудова 3D-моделі деталі типу «Молоток» в системі твердотілого моделювання.** Мета роботи: побудувати 3D-модель деталі в CAD системі за вибором студента (можливі системи – Solidworks, Аскон-Компас, Autodesk Inventor або будь-якій іншій).

**Тема 4. Побудова 3D-моделі деталі типу «Пружина» в системі твердотілого моделювання.** Мета роботи: побудувати 3D-модель деталі в CAD системі за вибором студента (можливі системи – Solidworks, Аскон-Компас, Autodesk Inventor або будь-якій іншій).

### **Теми лабораторних робіт**

Лабораторні роботи в рамках дисципліни не передбачені.

### **Самостійна робота**

Курс передбачає виконання індивідуального розрахункового завдання з наведенням різних методів використання адитивних технологій.

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

### **Література та навчальні матеріали**

#### **Основна література**

1. Манжілевський О. Д. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування : навчальний посібник / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 105 с.
2. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: конспект лекцій / Ю. В. Холодняк; ТДАТУ. – Мелітополь: Люкс, 2021. – 140 с.
3. Масючок О.П. Адитивні технології полімерних матеріалів (огляд) /О.П. Масючок, М.В. Юрженко, Р.В. Колісник, М.Г. Кораб //Автоматичне зварювання . 2021. - №6. – С. 53-60.
- 4.Сергєєв В.В. Адитивні технології: основи, методи, обладнання./ В.В.Сергєєв, І.М. Павленко. – Київ: 2020. –245с.



5. Types of 3D Printing Technology. URL: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology> (дата звернення: 13.09.2021).
6. Ponomarenko O. Advanced Technologies of Manufacturing Readily Removable Cores for Obtaining High-Quality Castings // Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV Proceedings of the 4th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2021, June 8–11, 2021, Lviv, Ukraine – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. Pages 565-574 / Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. – 2021. – Pages 565-574. DOI: 10.1007/978-3-030-77719-7\_56
7. Ponomarenko, O., Yevtushenko, N., Khoroshylov, O., Yevtushenko, S., Berlizeva, T., Vorobyov, M., Lukianov, I. (2023). Using an Object-Oriented Approach in Foundry Production. In: Cioboată, D.D. (eds) International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) - 2023. ICoRSE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 762, pp. 604-615. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-40628-7\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-031-40628-7_48)
8. Порошкові титанові сплави для адитивних технологій: структура, властивості, моделювання: монографія / О.В. Овчинников, З.А. Дурягіна, Т.С. Романова, І.А. Лемішка, А.В. Панкратов, В.В. Кулик, Ю.Ф. Басов, М.В. Хазнаферов. – Київ: Наукова думка, 2021. – 196 с.
9. Дорошенко В.С. Про практику адитивного виробництва в ливарництві та засоби лабораторного відпрацювання піщаних формувальних чи стрижневих сумішей для цього/ В.С. Дорошенко //Метал та лиття України. –2022. – Том 30. – № 1 (328). – С. 62-68

### Додаткова література

10. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. “Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing” – Springer, 2021 (3rd ed.)
11. Luis Carlos Hensel, Marcelo R. da Silva. “Fundamentals of Additive Manufacturing for the Practitioner” – Wiley, 2023.
11. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Адитивні технології у ливарному виробництві» [Електронний ресурс] : для студентів ден. та заочн. форми навчання за спец. 131 Прикладна механіка, 136 Металургія / Уклад.: Пономаренко О.І., Масалітіна О.В. – Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Електрон. текст. дані. – Харків, 2024. – 19 с. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/81009>
12. Муравйов О.В. Сучасний стан та перспективи розвитку адитивних технологій / О.В. Муравйов, Ю.М. Нижник, В.Ф. Петрик, А.Г. Протасов, К.М. Серий // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. –2021. – Том 32 (71) – № 5. – С. 62-68. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/18>
13. Дегтярьов І. М. Прогресивні технології виготовлення деталей насосного обладнання : навчальний посібник / І. М. Дегтярьов, А. О. Нешта, В. О. Колесник. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 256 с.
14. Zgalat-Lozynskyy, O., Matviichuk, O., Tolochyn, Polymer Materials Reinforced with Silicon Nitride Particles for 3D Printing. Ceram, 2021, № 59. – p. 515–527. <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00189-2>
15. V. Beloshenko, V. Chishko, V. Plavan, N. Rezanova, B. Savchenko, N. Sova, I. Vozniak Production of Filter Material from Polypropylene / Copolyamide Blend by Material Extrusion-Based Additive Manufacturing: Role of Production Conditions and ZrO<sub>2</sub> // Nanoparticles 3D Printing and Additive Manufacturing, 2021, V. 8, N. 4. – p.1-13. <https://doi.org/10.1089/3dp.2020.0195>
16. Матвійчук О., Бондаренко В.П., Євдокимова О.В., Шестаков С.І. 3D-технологія заготівельного твердосплавного виробництва // Матеріали Міжнародного науково-технічного семінару, 15–19 березня 2021 р., м. Львів. – Київ: АТМ України, 2021. – с.144
17. Bondarenko, V., Ievdokymova, O., Matviichuk, O. et al. Iron-Paraffin Composite Material for 3D Printing by Fused Deposition Modeling Method. Powder Metall Met Ceram, 2021, №59. – p. 730–738. <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00208-2>
17. Дорошенко В.С. Розвиток ринку 3d-технологій в заготівельному виробництві./ В.С. Дорошенко //Процеси лиття. –2021. – № 2. – С. 61-69.



## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% підсумкової оцінки складаються з результатів оцінювання у вигляді поточного оцінювання та заліку.

*Залік* письмове завдання (2 запитання з теорії) та усна доповідь.

*Поточне оцінювання*: 2 модульні контрольні, практичні роботи (по 20%) та розрахункове завдання (40%).

### 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 (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент 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

24.06.2024

Дата погодження, підпис

Завідувач кафедри  
Олег АКИМОВ

24.06.2024

Дата погодження, підпис

Гарант ОП  
Ольга ПОНОМАРЕНКО

