



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Шифр та назва спеціальності

G10 – Металургія

Інститут

ННІ Механічної інженерії та транспорту

Спеціалізація

–

Кафедра

Ливарного виробництва (142)

Освітня програма

Металургійні процеси та системи

Тип дисципліни

Вибіркова

Рівень освіти

Другий (магістерський)

Форма навчання

Денна

Семестр 2

Мова викладання

Українська

Викладачі, розробники



Пономаренко Ольга Іванівна,

Olha.Ponomarenko@khi.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 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 виливка, 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.

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.

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

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

РН 16. Розуміння різних способів формоутворення та проектування оснащення для різних видів литва.

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

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

Навчальні заняття

Лекції

Теми лекцій	Кількість годин
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.	1
Тема 1. Термінологія та класифікація по адитивним технологіям у виробництві. Класифікація: за типом будівельних матеріалів Класифікація: за ключовою технологією: лазерні та нелазерні.	2
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)	3



Тема 3. Класифікація ASTM за категоріями: Material Extrusion, Material Jetting, Binder Jetting, Sheet Lamination, Vat Photopolymerization, Powder Bed Fusion, Directed energy deposition. 2

Тема 4. Адитивної технології у машинобудівних галузях. 4

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

Тема 5. Характеристика ринку АД-технологій. 2
Ринок АД-технологій, зокрема 3D-принтерів. «Аматорські» та «професійні» 3D-принтери.

Тема 6. Критерії вибору АД-технологій. 2
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. 3
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. Технологии и машины для выращивания металлических изделий 4
Машини та обладнання для «виращування» 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

4

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 вирощування 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. MJM-технологія. Отримання «восковок» - воскоподібні синтез-моделі для подальшого лиття за моделями, що виплавляються.

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

3

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.

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

Тема 11. Алгоритм дій конструктора-технолога при проєктуванні технології.

2

Послідовність операцій: створення CAD-модель виробу, проєктування ливникової системи, модель масштабують відповідно до коефіцієнта усадки ливарного матеріалу, одержання технологічної CAD-моделі, створення CAD-моделі стрижнів та зовнішніх форм.

Моделювання процесу лиття. Сучасні програмні продукти, такі як:

Magma (Magma GmbH, Німеччина); ProCAST (ESI Group, Франція); QuikCAST (ESI Group, Франція); СКМ ЛП "ПолігонСофт"; LVMFlow.

Загальна кількість годин

32

Практичні заняття

Теми практичних занять

Кількість годин **Вагові коефіцієнти а**

Тема 1. Використання адитивних технологій на сучасних підприємствах. Мета роботи: ознайомитись з основними поняттями, термінами і методами 3D-друку та можливостями

4

1



Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

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).	4	1
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).	4	1
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).	4	1
Загальна кількість годин	16	$\sum_{i=1}^n a_i = 4$

Лабораторні заняття

Лабораторні роботи в рамках дисципліни не передбачені.

Контрольні роботи

Контрольні роботи з курсу «Адитивні технології у ливарному виробництві»	Вагові коефіцієнти b
Модульна контрольна робота № 1	1
1. Які основні терміни використовуються у сфері адитивних технологій і що вони означають? 2. У чому полягає сутність класифікації адитивних технологій за типом будівельних матеріалів? 3. Які групи будівельних матеріалів застосовуються в адитивному виробництві (метали, полімери, кераміка тощо)? 4. Які переваги та обмеження притаманні кожній групі будівельних матеріалів? 5. Які основні відмінності між лазерними та нелазерними адитивними технологіями? 6. Які технології відносять до лазерних (наприклад, SLM, LMD) і які приклади їх використання? 7. Які методи належать до нелазерних адитивних технологій (наприклад, FDM, Binder Jetting)? 8. Як класифікація за будівельними матеріалами та за ключовою технологією допомагає у виборі оптимального способу виготовлення виробів? 9. У чому полягає принцип адитивних технологій типу Bed Deposition? 10. Які особливості роботи технології SLS (Selective Laser Sintering)? 11. Які матеріали найчастіше застосовуються у SLS-технологіях? 12. Які переваги та обмеження притаманні SLA (Stereolithography Apparatus)-технології? 13. У чому основна різниця між SLA та SLS за механізмом формування виробу? 14. Що розуміють під поняттям Direct Deposition технології? 15. Які приклади методів прямого осадження (Direct Deposition) можна навести та де вони застосовуються? 16. Як порівняти технології Bed Deposition і Direct Deposition за точністю,	



вартістю та можливостями виготовлення деталей?

17. У чому полягає принцип дії технології SLA (Stereolithography Apparatus) і які її основні переваги?

18. Які особливості має технологія SLS (Selective Laser Sintering) та які матеріали найчастіше в ній застосовуються?

19. Чим відрізняється DMF/DMLS (Direct Metal Fabrication/Direct Metal Laser Sintering) від традиційної SLS-технології?

20. Яка різниця між технологіями SLS та SLM (Selective Laser Melting) у процесі формування виробів із металів?

21. У чому полягає принцип роботи технології DLP (Digital Light Processing) і чим вона відрізняється від SLA?

22. Які можливості надає технологія Poly-Jet у виробництві складних прототипів та які матеріали застосовуються?

23. У чому особливість технології FDM (Fused Deposition Modeling) і які її переваги в машинобудуванні?

24. Як працює технологія Ink-Jet і які її відмінності від інших адитивних методів?

25. Які з перелічених технологій найчастіше застосовуються для виготовлення деталей із металів у машинобудуванні?

26. Як порівняти наведені адитивні технології за точністю, вартістю, швидкістю виготовлення та галузями застосування?

27. Які основні тенденції розвитку сучасного ринку адитивних технологій у світі та в Україні?

28. У чому полягають ключові відмінності між «аматорськими» та «професійними» 3D-принтерами?

29. Які сфери промисловості найбільше впливають на розвиток ринку АД-технологій?

30. Як доступність та вартість 3D-принтерів впливають на розширення ринку та коло користувачів?

Модульна контрольна робота № 2

1

1. Які критерії вважаються ключовими під час вибору адитивної технології для машинобудівного виробництва?

2. Як вартість придбання обладнання впливає на вибір конкретної АД-технології?

3. Чому продуктивність 3D-принтера є одним із вирішальних чинників при його виборі?

4. Яке значення мають якість поверхні та ступінь деталізації моделі для різних сфер застосування адитивних технологій?

5. Як точність побудови моделі співвідноситься з трудомісткістю подальшої пост-обробки?

6. Які фактори визначають стабільність модельного матеріалу і як це впливає на якість кінцевого виробу?

7. Чому термін служби принтера та довговічність його основних вузлів є важливими економічними критеріями?

8. Як вартість та надійність постачання будівельних і допоміжних матеріалів впливають на ефективність виробництва?

9. Яку роль відіграють технічна підтримка, вартість сервісного договору та обслуговування обладнання у виборі технології?

10. Чому кваліфікація обслуговуючого персоналу, вимоги до площі інсталяції та інженерної інфраструктури слід враховувати при впровадженні АД-технологій?

11. У чому полягає основне завдання швидкого прототипування у машинобудуванні та інших галузях?

12. Які переваги надає використання адитивних технологій у процесі швидкого прототипування порівняно з традиційними методами?

13. У чому полягає принцип роботи технології SLS (Selective Laser Sintering) та які її особливості для прототипування?



-
14. Як функціонує технологія DLP (Digital Light Processing) і які переваги вона має над SLA?
 15. Які можливості забезпечує технологія Poly-Jet у створенні прототипів складної форми?
 16. Як впливає вибір технології (SLS, DLP, Poly-Jet тощо) на шорсткість поверхні готової моделі?
 17. У чому полягає поняття «швидке оснащення» (rapid tooling) та які АД-технології найчастіше застосовують для його виготовлення?
 18. Які приклади застосування «rapid tooling» у машинобудівних виробництвах можна навести?
 19. Які світові фірми є провідними виробниками принтерів для швидкого прототипування?
 20. Як порівняти популярні системи прототипування за вартістю, точністю, швидкістю виготовлення та доступністю матеріалів?
 21. У чому полягає принципова відмінність між технологіями та обладнанням груп «Bed Deposition» і «Direct Deposition»?
 22. Які ключові характеристики машин групи Bed Deposition для синтезу деталей з металопорошкових композицій?
 23. Які основні технології та обладнання пропонує компанія Concept Laser у сфері вирощування металевих виробів?
 24. Які особливості технологій адитивного виробництва металів компаній EOS та 3D Systems (США)?
 25. Які технічні переваги машин компаній SLM Solutions і Realizer (Німеччина) у групі Bed Deposition?
 26. Які особливості технології Sheet Lamination та її місце у класифікації адитивних технологій?
 27. Які провідні компанії спеціалізуються на розробці машин групи Direct Deposition (наприклад, POM Group, Optomec, Irepalaser)?
 28. Які основні параметри машин для пошарового синтезу металопорошкових виробів характерні для технологій групи Direct Deposition?
 29. У чому полягає сутність технології створення синтез-моделей у ливарному виробництві?
 30. Які особливості має технологія SLS (Selective Laser Sintering) при виготовленні синтез-моделей із порошкових полімерів?
 31. Які машини застосовуються для пошарового синтезу моделей із полімерних порошкових матеріалів у ливарному виробництві?
 32. У чому полягає принцип роботи Ink-Jet-технології та які її переваги для виготовлення ливарних моделей?
 33. Як функціонує технологія SLA (лазерна стереолітографія) і які матеріали застосовуються для створення синтез-моделей?
 34. Які можливості надає використання стереолітографії у процесі вирощування ливарних моделей?
 35. Як SLA-технологія застосовується у виготовленні майстер-моделей для подальшого отримання силіконових форм, воскових моделей чи поліуретанових виливків?
 36. Які сфери використання мають дизайн-моделі, макети та функціональні прототипи, створені за допомогою SLA-технологій?
 37. Яке значення мають повнорозмірні та масштабні моделі, створені за адитивними технологіями, для гідродинамічних, аеродинамічних та міцнісних досліджень?
 38. Що являє собою технологія Quick-Cast та які її переваги у ливарному виробництві?
 39. Яка номенклатура модельних матеріалів (VisiJet Flex, VisiJet Tough – ABS, VisiJet Clear, VisiJet HiTemp, VisiJet e-Stone) застосовується у синтез-моделях?
 40. Які основні параметри SLA-машин компанії 3D Systems важливо



враховувати для ливарного виробництва?

41. У чому полягає принцип технології DLP (Digital Light Processing) та які її відмінності від SLA?

42. Як працює MJM-технологія (Multi-Jet Modeling) та яке її значення для отримання «восковок» – воскоподібних синтез-моделей у ливарному виробництві?

43. Які загальні принципи технологій адитивного синтезу піщаних ливарних форм?

44. У чому полягають основні відмінності між SLS-технологією та Ink-Jet-технологією у виробництві піщаних форм?

45. Які особливості має AD-технологія пошарового спікання плакованого піску лазерним променем (фірма EOS)?

46. Як реалізується процес пошарового нанесення сполучного складу в Ink-Jet-технології (фірма ExOne)?

47. Які матеріали використовуються при синтезі піщаних форм та як їхні властивості впливають на якість готової форми?

48. Які конструктивні особливості мають машини для пошарового синтезу піщаних форм і стрижнів?

49. Які технічні характеристики машин фірм EOS та ExOne для виробництва піщаних ливарних форм?

50. Як здійснюється оснащення ливарної ділянки для ефективного впровадження адитивних технологій виготовлення піщаних форм?

51. Які переваги та обмеження мають технології синтезу піщаних ливарних форм у порівнянні з традиційним формоутворенням?

52. У яких напрямках розвиваються технології та машини для синтезу піщаних форм у сучасному ливарному виробництві?

Загалом

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

Самостійна робота

Програмою курсу передбачено самостійне вивчення тем та питань, які не викладаються на лекційних заняттях. В рамках курсу студентам також рекомендуються додаткові матеріали для самостійного вивчення та аналізу.

Опрацювання теоретичного матеріалу

Теми для самостійного вивчення

Кількість годин

Тема 1. Класифікація по адитивним технологіям у виробництві.

2

Тема 2. Види технологій: Bed Deposition та Direct Deposition технології.

4

Тема 4. Адитивної технології у машинобудівних галузях.

4

АД-технології: FDM, Fused Deposition Modeling – пошарове накладання розплавлюваних ниткоподібних полімерів; Ink-Jet – затвердіння шару порошкового матеріалу шляхом нанесення сполучного складу через багатосоплову головку (за типом струминного 3D-принтера).

Тема 5. Характеристика ринку АД-технологій.

4

Ринок АД-технологій.

Тема 6. Критерії вибору АД-технологій.

4

Критерії: 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. и. Виготовлення "швидкого оснащення" - "rapid tooling" АД-технологіями. Фірми-виробники найпопулярніших принтерів для прототипування.	4
Тема 8. Технологии и машины для выращивания металлических изделий 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».	4
Тема 9. Адитивні технології та ливарне виробництво Використання стереолітографії при вирощування 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,	4
Тема 10. Технології та машини для синтезу піщаних ливарних форм. Технологія фірми EOS (Німеччина) є різновидом SLS-технології. Машини для синтезу піщаних форм. Машини для пошарового синтезу піщаних форм та стрижнів. Оснащення ливарної ділянки для ефективного використання адитивних технологій.	4
Тема 11. Алгоритм дій конструктора-технолога при проектуванні технології. Послідовність операцій: створення CAD-модель виробу, проектування ливникової системи, модель масштабують відповідно до коефіцієнта усадки ливарного матеріалу, одержання технологічної CAD-моделі, створення CAD-моделі стрижнів та зовнішніх форм.	2
Загальна кількість годин	36

Тематика індивідуальних завдань

Виконання розрахункового завдання передбачає виконання індивідуального розрахункового завдання з наведенням різних методів використання адитивних технологій відповідно до мети навчальної дисципліни. Здобувач обирає конкретну тему в межах загальної тематики за погодженням з викладачем. Обсяг звіту: 12–15 сторінок основного тексту. Звіт має бути оформлений відповідно до вимог, наведених у літературному джерелі [12]. Завдання виконується протягом навчальних тижнів і подається на перевірку до заліку.

Теми індивідуального завдання

Тема 1. Створення 3D-моделі деталі «Корпус редуктора» в CAD-програмі, вибір матеріалів для 3D-друку моделі і ливарної форми, розрахунок ефективності застосування адитивних технологій у процесі виготовлення ливарних форм та моделей.

Тема 2. Створення 3D-моделі деталі «Зубчасте колесо» в CAD-програмі, вибір матеріалів для 3D-друку моделі і ливарної форми, розрахунок ефективності застосування адитивних технологій у процесі виготовлення ливарних форм та моделей.

Тема 3. Створення 3D-моделі деталі «Вал-шестерня» в CAD-програмі, вибір матеріалів для 3D-друку моделі і ливарної форми, розрахунок ефективності застосування



адитивних технологій у процесі виготовлення ливарних форм та моделей.

Тема 4. Створення 3D-моделі деталі «Пропелер» в CAD-програмі, вибір матеріалів для 3D-друку моделі і ливарної форми, розрахунок ефективності застосування адитивних технологій у процесі виготовлення ливарних форм та моделей.

Тема 5. Створення 3D-моделі деталі «Підшипниковий вкладиш» в CAD-програмі, вибір матеріалів для 3D-друку моделі і ливарної форми, розрахунок ефективності застосування адитивних технологій у процесі виготовлення ливарних форм та моделей.

Тема 6. Створення 3D-моделі деталі «Опорний фланець» в CAD-програмі, вибір матеріалів для 3D-друку моделі і ливарної форми, розрахунок ефективності застосування адитивних технологій у процесі виготовлення ливарних форм та моделей.

Тема 7. Створення 3D-моделі деталі «Корпус паливної форсунки» в CAD-програмі, вибір матеріалів для 3D-друку моделі і ливарної форми, розрахунок ефективності застосування адитивних технологій у процесі виготовлення ливарних форм та моделей. Аналіз роботи системи приготування стрижневої суміші для одержання стрижнів на смолах.

Тема 8. Створення 3D-моделі деталі «Кришка коробки передач» в CAD-програмі, вибір матеріалів для 3D-друку моделі і ливарної форми, розрахунок ефективності застосування адитивних технологій у процесі виготовлення ливарних форм та моделей.

Загальна кількість годин

36

Неформальна освіта

Здобувач має можливість перезарахувати окремі теми або курс шляхом: проходження професійних курсів чи тренінгів, онлайн-освіти, професійних стажувань, у сфері, що відповідає навчальним цілям дисципліни.

Для зарахування необхідно надати: сертифікат (електронний або друкований) про проходження курсу/стажування, опис програми тренінгу із зазначенням змісту тем, обсягу та тривалості.

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

8. Порошкові титанові сплави для адитивних технологій: структура, властивості, моделювання: монографія / О.В. Овчинников, З.А. Дурягіна, Т.Є. 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.

10. Порошкові титанові сплави для адитивних технологій: структура, властивості, моделювання: монографія / О.В. Овчинников, З.А. Дурягіна, Т.Є. Романова, І.А. Лемішка, А.В. Панкратов, В.В. Кулик, Ю.Ф. Басов, М.В. Хазнаферов. – Київ: Наукова думка, 2021. – 196 с.

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.

12. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Адитивні технології у ливарному виробництві» для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю G10 Металургія / Уклад.: Масалітіна О.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2025. – 20 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/81009>

13. 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>

14. 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>

15. 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.

7. 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>

16. 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 ZrO₂ // Nanoparticles 3D Printing and Additive Manufacturing, 2021, V. 8, N. 4. – p. 1-13. <https://doi.org/10.1089/3dp.2020.0195>

17. 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

10. 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>

18. Дорошенко В.С. Розвиток ринку 3d-технологій в заготівельному виробництві./ В.С. Дорошенко // Процеси лиття. – 2021. – № 2. – С. 61-69.

19.



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 (практичні роботи), k_1	Контрольні роботи (за наявності), k_2	Індивідуальне завдання (за наявності), k_3	Підсумковий контроль (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:

$$O = \Pi \cdot k_1 + K \cdot k_2 + I \cdot k_3 + \Pi_k \cdot k_4,$$

де: Π – середньозважена середня оцінка за поточний контроль,

I – оцінка за виконання індивідуального завдання,

K – середньозважена оцінка за контрольні роботи,

Π_k – оцінка за підсумковий контроль.

$$\Pi = \frac{\Pi_1 \cdot a_1 + \Pi_2 \cdot a_2 + \dots + \Pi_n \cdot a_n}{\sum_{i=1}^n a_i},$$

де: a_i – ваговий коефіцієнт за практичне 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 (Π , K , I , ...))

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 O 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 (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

30.06.2025

Дата погодження, підпис



30.06.2025

Дата погодження, підпис



Завідувач кафедри

Ольга ПОНОМАРЕНКО

Гарант ОП

Дмитро ДЬОМІН

