



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Шифр та назва спеціальності

131 – Прикладна механіка

Інститут

ННІ Механічної інженерії та транспорту

Освітня програма

Прикладна механіка, комп'ютеризоване ливарне виробництво, художнє та ювелірне литво

Кафедра

Ливарного виробництва (142)

Рівень освіти

Магістр

Тип дисципліни

Спеціальна (фахова).

Семестр

2

Мова викладання

Українська, англійська

Викладачі, розробники



Пономаренко Ольга Іванівна,

Olha.Ponomarenko@kpi.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 освіти України, 1 підручник, 3 монографії та 17 авторських свідоцтв і патентів.

Курси: «Формувальні матеріали і суміші», «Фізико-хімічні основи ливарного виробництва», «Теорія формування відливок», «Робочі процеси сучасних виробництв», «Ресурсозберігаючі технології та плавка сплавів зі спеціальними властивостями», «Конструювання литих виробів та оснащення», «Адитивні 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 САD-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, лабораторні і практичні роботи, реферат, самостійна робота, консультації.
Підсумковий контроль – екзамен.

Компетентності

ЗК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми

ЗК2. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК5. Здатність розробляти та управляти проектами.

ЗК8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

ФК1. Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування.

ФК5. Здатність поставити задачу і визначити шляхи вирішення проблеми засобами прикладної механіки та суміжних предметних галузей, знання методів пошуку оптимального рішення за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

ФК7. Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.

ФК9. Здатність до самостійної роботи і ефективного функціонування в якості керівника групи чи структурного підрозділу при виконанні виробничих завдань, комплексних проектів, наукових досліджень. Відповідальність за розвиток професійного знання і практик, оцінку стратегічного розвитку команди.

ФК11. Здатність планувати і виконувати експериментальні дослідження, обробляти результати експерименту на основі використання сучасних інформаційних технологій та мікропроцесорної техніки, інтерпретувати результати натурних або модельних експериментів.

Результати навчання

РН2. Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення.

РН3. Застосовувати системи автоматизації для виконання досліджень, проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні.

РН7. Зрозуміло і недвозначно презентувати результати досліджень та проектів, доносити власні висновки, аргументи та пояснення державною та іноземною мовами усно і письмово колегам, здобувачам освіти та представникам інших професійних груп різного рівня.

РН9. Організувати роботу групи при виконанні завдань, комплексних проектів, наукових досліджень, розуміти роботу інших, давати чіткі інструкції.

РН10. Вести пошук необхідної інформації в науково-технічній літературі, електронних базах та інших джерелах, засвоювати, оцінювати та аналізувати цю інформацію.

РН13. Продемонструвати уміння обґрунтування та оцінювання проектів, знання методик просування їх на ринку, вміння виконувати економетричну та наукометричну оцінки.



PH14. Показати знання основ організації та керування персоналом. ПР006. Виявляти навички пошуку, збирання та аналізу інформації по адитивним технологіям у ливарному виробництві.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредитів ECTS): лекції – 32 год., лабораторні роботи -16 год, практичні роботи -16 год, самостійна робота –56 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 проектний 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 нелазерні.

Тема 2. Види технологій

1. 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 .

2. 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 головку 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 головку (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. Технологии и машины для выращивания металлических изделий

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

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 виращуванні 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 проекції.

MJM-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. 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 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.

Моделювання процесу лиття. Сучасні програмні продукти, такі як:

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

Теми лабораторних та практичних робіт

Тема 1. Використання адитивних технологій на сучасних підприємствах.

Тема 2. Побудова 3D-моделі деталі за визначеними габаритними розмірами.

Тема 3. Побудова 3D-моделі деталі в системі твердотілого моделювання.

Тема 4. Побудова 3D-моделі деталі типу «Пружина» в системі твердотілого моделювання.

Тема 5. Основні технології 3D друку. FDM. SLA. SLM. DMLS.

Тема 6. Матеріали для 3D друку. Полімерні матеріали. Композити. Металовмісні матеріали.

Тема 7. Робота з 3D моделями. Програмне забезпечення для тривимірного моделювання.

Самостійна робота

Курс передбачає розрахункове завдання за індивідуальною темою.

На основі виданого виробу (вилівки, деталі, стрижня, ливарної форми) вибрати:

1. Метод виготовлення виробу;
2. Вибір матеріалу;
3. Розробити технологію виготовлення виробу ;
4. Навести список використаної літератури.

Література та навчальні матеріали

Основна література

1. David L. Bourella, Joseph J. Beaman, Jr.a, Ming C. Leub and David W. Rosenc. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead. RapidTech 2009, www.rapidtech.itu.edu.tr.
2. Beaman J. J. Solid Freeform Fabrication: An Historical Perspective. The University of Texas. Austin, Texas.
3. Techel A. et al. Laser Additive Manufacturing of Turbine Components, Precisely and Repeatable. Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology (IWS), інтернет-видання Laser Institute of America. <http://www.lia.org/blog/category/laser-insights-2/laser-additive-manufacturing>
4. Sabina L. Campanelli et. al. Capabilities and Performances of the Selective Laser Melting Process. Polytechnic of Bari, Department of Management and Mechanical Engineering, Viale Japigia, 182 Italy [Електр. ресурс], Режим доступу: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/12285.pdf>
5. 3-D Printing Manufacturing Process is Here; Independent global forum for the Unmanned Aircraft Systems community, UAS Vision [Електр.ресурс]. – URL: <http://www.uasvision.com>.
6. Khoshnevis B. et al. Metallic part fabrication using Selective Inhibition Sintering (SIS). Department of Industrial and Systems Engineering University of South California, Los Angeles, CA 90089, USA. [Електр. ресурс], <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:EchCrGNayJEJ:wwwbcf.usc>.



7. 5-akselinen pystykarainen työstökeskus MATSUURA MAM72-35V on uudistunut. 18.12.2012. <http://www.makrum.fi/blog/matsuura-uudistanut-mam72-35v-pystykaraisentyostokeskuksen/>
8. Louvis E. et. al. Selective laser melting of aluminium components. Journal of Materials Processing Technology. Volume 211, Issue 2, 1 February 2011, Pages 275–284. Department of Engineering, The University of Liverpool, Liverpool L69 3GH, United Kingdom.
9. Yasa E. et. al. The investigation of the influence of laser re-melting on density, surface quality and microstructure of selective laser melting parts // Rapid Prototyping Journal. – 2011. – Vol. 17. – Iss: 5. – P. 312-327.
10. Yasa E., Kruth J. Application of laser re-melting on Selective laser melting parts. Catholic University of Leuven, Dept. of Mech. Eng, Heverlee, Belgium. Advances in Production Engineering & Management 6 (2011) 4. P. 259-270, Scientific paper [Электронный ресурс]. URL: <https://lirias.kuleuven.be>.
11. Beyer E. New Industrial Systems & Concepts for Highest Laser Cladding Efficiency. Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik. MAY 6, 2011 in LASER CLADDING, LASER MANUFACTURING [Електр. ресурс] режим доступу <http://www.lia.org/blog/2011/05/high-performancelaser-cladding/>
12. Dutta B. et. al. Additive Manufacturing by Direct Metal Deposition AD- VANCED MATERIALS & PROCESSES • MAY 2011. P. 33-36.
13. Types of 3D Printing Technology. URL: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology> (дата звернення: 13.09.2021).

Додаткова література

1. Robbie Adams, ION FUSION FORMATION, Pat. US 6,680,456 B2, Jan. 20, 2004.
2. Beyer E. New Industrial Systems & Concepts for Highest Laser Cladding Efficiency. Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik. MAY 6, 2011 in LASER CLADDING, LASER MANUFACTURING [Електр. ресурс режим доступу <http://www.lia.org/blog/2011/05/high-performancelaser-cladding/>
3. Hohmann M., Brooks G., Spiegelhauer C. Production methods and applications for high-quality metal powders and sprayformed products. Produktionsmethoden und Anwendungen für qualitativ hochwertige Metallpulver und spruhkompaktierte Halbzeuge. Stahl und Eisen. – 2005.
4. Boulos M. Plasma power can make better powders. Metal Powder Report. 2004. – Vol. 59. – Issue 5. – P. 16-21.
5. Donachie M.J., Donachie S. Superalloys: A Technical Guide, 2 nd Ed. – ASM International, 2002. – 438 p.
6. Fngelo H. C., Subramanian R. Powder Metalurge: Science, technology and application. – New Dehli, 2009.
7. Ahsan M.N. et. al. A comparison of laser additive manufacturing using gas and plasma-atomized Ti-6Al-4V powders // Innovative Developments in Virtual and Physical Prototyping. – London: Taylor & Francis Group, 2012.
8. <http://foundrymag.com/feature/new-tooling-alloysmolds-and-dies-advancing-market>.



Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% підсумкової оцінки складаються з результатів оцінювання у вигляді екзамену (40%) та поточного оцінювання (60%).

Екзамен: письмове завдання (2 запитання з теорії) та усна доповідь.

Поточне оцінювання: 2 модульні контрольні та реферату (по 20%).

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 «ХП»: 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 «ХП» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

Погодження

Силабус погоджено

22.08.2023

Дата погодження, підпис

Завідувач кафедри
Олег АКИМОВ

22.08.2023

Дата погодження, підпис

Гарант ОП

Олександр ШЕЛКОВИЙ

