



Технології швидкого прототипування

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>136 Металургія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютеризовані процеси лиття</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити (120 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: ас. Іванченко Дмитро Вікторович, cortdm77@gmail.com, +380509988615 Викладач комп'ютерних практикумів: ас. Іванченко Дмитро Вікторович</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Перед тим як почати виробництво нового виробу, багато компаній вважають за краще попередньо проводити його тестування. Застосування новітніх технологій допомагає скоротити витрати на виконання цього завдання при мінімальних тимчасових витратах. Найчастіше для цього використовують 3D прототипування.

Виготовлення моделі являє собою комплексний процес, при якому відбувається створення технічного зразка продукту. Його можна продемонструвати цільовій аудиторії для оцінки функціональності, властивостей, а також інших характеристик перед запуском в масове виробництво. Окрім того модель може бути використана для створення ливарної форми.

Існує класифікація, яка визначається за сферою застосування об'єкта:

- Промисловий. Зразки, які створюють на підприємствах. Наприклад: запчастина, деталь, корпус.
- Транспортний. Застосовують в машинобудуванні, авіа- і космічній інженерії. Це моделі різних видів водного, наземного та повітряного транспорту.
- Презентаційний. Об'ємний макет міста, приміщень та інших об'єктів у сфері дизайну, інтер'єру і архітектурних будівель.
- Товарний/продуктовий. Виставковий екземпляр продукту або упаковки.

Розробка майстер-моделей допомагає у всіх напрямках життя людини, дозволяючи виправляти недоліки при розробці різних товарів до початку їх виробництва.

Мета дисципліни «Технології швидкого прототипування», полягає в тому, щоб освоїти методи моделювання, та виготовлення деталей-прототипів, що базуються на сучасних технологіях.

Предмет дисципліни: технологічні та металургійні закономірності процесів, що відбуваються за різних умов застосування технологій швидкого прототипування, їх вплив на властивості вироблених деталей.

Компетенції та результати навчання, які підсилюються:

Загальні компетентності (ЗК)

Здатність використовувати інформаційні і комунікаційні технології.

Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Здатність працювати з інформацією: знаходити, оцінювати й використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для вирішення професійних завдань у галузі металургії

Спеціальні (фахові) компетентності (СК)

Здатність застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії.

Здатність застосовувати наукові і інженерні методи, а також комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення типових та комплексних завдань металургії за спеціалізацією, у тому числі в умовах невизначеності.

Здатність реалізовувати концепції ощадливого виробництва та загальні принципи зниження виробничих витрат у металургії, а також впроваджувати ресурсозберігаючі технології, які дозволяють акумулювати ресурси, спрямовані на досягнення цілей в усіх напрямках діяльності металургійного підприємства.

Здатність обирати технологічне обладнання та технологію виробництва продукції заданої якості.

Програмні результати навчання

Вміння поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань відповідної спеціалізації металургії.

Вміння застосовувати концепції бережливого виробництва та загальні принципи зниження виробничих витрат у металургії.

Вміння використовувати можливості сучасних CAD/CAM/CAE систем.

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

Вивченню дисципліни має передувати вивчення дисциплін:

- Вища математика;
- Теорія металургійних процесів;
- Системи автоматизованого проектування та дизайну.

Знання, отримані при вивченні цієї дисципліни використовуються студентами при подальшому вивченні таких дисциплін як «Устаткування ливарних цехів», «Технологія ливарної форми», в тому числі при підготовці курсових проектів, під час переддипломної практики і для дипломного проектування - атестаційних робіт першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, а також для дисциплін другого (магістерського) рівня вищої освіти.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ. Види прототипів. Технології швидкого прототипування. Етапи прототипування 3D моделей. Методи промислового прототипування і інших його різновидів. Сфери застосування тривимірного прототипування.

Розділ 2. Технології друку. Технологія 3D-друку FDM (Fused Deposition Modeling). Технологія 3D-друку MJM (Multi Jet Modeling). Технологія спікання порошків SLS (Selective Laser Sintering).

Технологія 3D-друку SLM (Selective Laser Melting). Технологія 3D-друку CJP (Color Jet Printing).

Розділ 3. Тривимірний друк металевих об'ємних виробів складної форми на основі зварювальних плазмово-дугових технологій.

Розділ 4. Застосування адитивних технологій для вирощування великих профільованих монокристалів вольфраму і молібдену.

Розділ 5. 3D електронно-променево наплавлення титанових деталей.

Розділ 6. Матеріали для «металевих» машин швидкого прототипування. Отримання нанокристалічних матеріалів для машин швидкого прототипування.

Розділ 7. Технологія Spray forming.

Розділ 8. Технології синтезу піщаних ливарних форм.

Розділ 9. Техніко-економічна доцільність впровадження технологій адитивного виробництва (AB).

Розділ 10. Порошкові технології адитивного виробництва: технологія розплавлення порошкового шару (Powder Bed Fusion) з різними джерелами енергії. Металургійні особливості сплавлення порошків.

Розділ 11. Статистичний аналіз адитивних технологій.

Розділ 12. Технологія осадження спрямованою енергією (Directed Energy Deposition, DED) з порошками. Ремонт і відновлення деталей.

Розділ 13. Адитивні технології з використанням дротів. Технологія осадження спрямованою енергією (Directed Energy Deposition, Joule heating, WAAM).

Розділ 14. Пошарове формування деталей з листового матеріалу (Sheet Lamination, Laminated Object Manufacturing, LOM). Металургійні особливості сплавлення.

Розділ 15. 3D сканування. Зворотній інжиніринг. Контроль якості за допомогою 3D сканування

Розділ 16. Використання АВ для сталей та сплавів на основі заліза. Технології, структура, властивості. Жаростійкі сплави, як матеріал АВ. Технології, структура, властивості.

Розділ 17. Використання АВ для алюмінію, титану і його сплавів, міді. Адитивні технології створення деталей в сучасній медицині, авіації та інших галузях сучасної індустрії.

Розділ 18. Оцінка якості та характеристика продуктів адитивного виробництва. Мікроструктури та властивості металів АМ на відміну від традиційних кованих або литих металів

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Andreas Gebhardt. Understanding Additive Manufacturing. Rapid Prototyping. Rapid Tooling. Rapid Manufacturing / Andreas Gebhardt – Munich: Hanser Publishers, 2011. – 167 p.
2. Ian Gibson. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker – London: Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2015. – 510 p.

Додаткова література:

1. М. А. Зленко. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
2. В. Я Панченко. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. В. Я. Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 664 с.: ил.
3. М.А. Зленко. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутьлина – Санкт-Петербург, «Издательство политехнического университета», 2013. – 222 с.: ил.
4. В. О. Шаповалов. Наукові основи дугових адитивних технологій у спецелектрометалургії та електрозварюванні / В. О. Шаповалов // Вісник НАН України. – 2018. – № 7 – с. 33–39.
5. С. В. Ахонин. 3D электронно-лучевая наплавка титановых деталей / С. В. Ахонин, Э. Л. Вржижевский, В. Ю. Белоус, И. К. Петриченко // Автоматическая сварка. – 2016. – №5-6 (753). – с. 141–144.
6. В. Н. Коржик. Трехмерная печать металлических объемных изделий сложной формы на основе сварочных плазменно-дуговых технологий / В. Н. Коржик, В. Ю. Хаскин, А. А. Гринюк, В. И. Ткачук, С. И. Пелешенко, В. В. Коротенко, А. А. Бабич // Автоматическая сварка. – 2016. – №5-6 (753). – с. 127–134.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Передбачено аудиторну систему навчання, яка може бути замінена на альтернативну (змішану) із використанням дистанційної системи Google meet.

Для більш ефективної комунікації викладача та студентів використовується електронна пошта, месенджер Telegram, папка зі спільним доступом на Google-диску, в якій розміщуються необхідні матеріали.

Структура курсу

Тиждень 1	Лекція №1. Вступ. Види прототипів. Технології швидкого прототипування. Етапи прототипування 3D моделей. Методи промислового прототипування і інших його різновидів. Сфери застосування тривимірного прототипування.
-----------	---

	Комп'ютерний практикум 1. Створення ізометричного креслення у середовищі AutoCAD.
Тиждень 2	Лекція №2. Технології друку. Технологія 3D-друку FDM (Fused Deposition Modeling). Технологія 3D-друку MJM (Multi Jet Modeling). Технологія спікання порошків SLS (Selective Laser Sintering). Технологія 3D-друку SLM (Selective Laser Melting). Технологія 3D-друку CJP (Color Jet Printing). Принципи побудови виробів за вищевказаними технологіями. Матеріали, що застосовуються для побудови. Властивості готових виробів. Точність побудови. Переваги та недоліки технологій у порівнянні між собою.
Тиждень 3	Лекція №3. Тривимірний друк металевих об'ємних виробів складної форми на основі зварювальних плазмово-дугових технологій. Схеми установок для плазмово-дугового тривимірного друку об'ємних виробів.
	Комп'ютерний практикум 2. Створення тривимірних моделей у середовищі AutoCAD.
Тиждень 4	Лекція №4. Застосування адитивних технологій для вирощування великих профільованих монокристалів вольфраму і молібдену.
Тиждень 5	Лекція №5. 3D електронно-променево наплавлення титанових деталей. Схема електронно-променевої 3D наплавки тіла обертання.
	Комп'ютерний практикум 3. Відбір деталей для виготовлення за допомогою адитивних технологій. Вимірювання коефіцієнта адитивності методом еквівалентних площ.
Тиждень 6	Лекція №6. Матеріали для «металевих» машин швидкого прототипування. Отримання нанокристалічних матеріалів для машин швидкого прототипування.
Тиждень 7	Лекція №7. Технологія Spray forming.
	Комп'ютерний практикум 4. Теорія топологічної оптимізації. Топологічна оптимізація конструкції деталі.
Тиждень 8	Лекція №8. Технології синтезу піщаних ливарних форм.
Тиждень 9	Лекція №9. Техніко-економічна доцільність впровадження адитивних технологій.
	Комп'ютерний практикум 5. Розрахунок економічної доцільності за методикою оцінки витрат.
Тиждень 10	Лекція №10. Порошкові технології адитивного виробництва: технологія розплавлення порошкового шару (Powder Bed Fusion) з різними джерелами енергії. Металургійні особливості сплавлення порошків.
Тиждень 11	Лекція №11. Статистичний аналіз адитивних технологій. Два основні підходи до короткострокового прогнозування. На основі величини середньорічного приросту ΔP світового ринку продукції та послуг адитивного виробництва та на основі того, що швидкість збільшення обсягу знань у деякій новій області науки і техніки, що швидко розвивається, пропорційна поточному значенню цього обсягу.
	Комп'ютерний практикум 6. Розрахунок зростання ринку послуг у сфері адитивного виробництва на основі статистичного аналізу адитивних технологій.
Тиждень 12	Лекція №12. Технологія осадження спрямованою енергією (Directed Energy Deposition, DED) з порошками. Ремонт і відновлення деталей
Тиждень 13	Лекція №13. Адитивні технології з використанням дротів. Технологія осадження спрямованою енергією (Directed Energy Deposition, Joule heating, WAAM)
	Комп'ютерний практикум 7. Лазерна стереолітографія. Розрахунок величини зони твердіння фпк під дією лазерного променя різної потужності.
Тиждень 14	Лекція №14. Пошарове формування деталей з листового матеріалу (Sheet Lamination, Laminated Object Manufacturing, LOM). Металургійні особливості сплавлення.

Тиждень 15	Лекція №15. 3D сканування. Зворотній інжиніринг. Контроль якості за допомогою 3D сканування.
	Комп'ютерний практикум 8. Реверс-інжиніринг. Програмне забезпечення для тривимірного сканування.
Тиждень 16	Лекція №16. Використання АВ для сталей та сплавів на основі заліза. Технології, структура, властивості. Жаростійкі сплави, як матеріал АВ. Технології, структура, властивості.
Тиждень 17	Лекція №17. Використання АВ для алюмінію, титану і його сплавів, міді. Адитивні технології створення деталей в сучасній медицині, авіації та інших галузях сучасної індустрії.
	Комп'ютерний практикум 9. Програми управління та коди для принтерів – машин виконувачів.
Тиждень 18	Лекція №18. Оцінка якості та характеристика продуктів адитивного виробництва. Мікроструктури та властивості металів АМ на відміну від традиційних кованих або литих металів.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота здобувачів здійснюється протягом всього семестру в рамках годин відповідно до робочого навчального плану підготовки.

Підготовка до лекцій: ознайомлення з матеріалами попередніх лекцій.

Підготовка до практичних робіт: ознайомлення з матеріалами лекцій стосовно тематики комп'ютерних практикумів, робота із методичними вказівками до комп'ютерних практикумів.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Вивчення навчальної дисципліни відбувається згідно графіку навчального процесу. Відвідування всіх видів занять рекомендовано для успішного засвоєння навчальних матеріалів.

Для студентів, які беруть на себе відповідальність за організацію і планування свого часу для навчання, є можливість опанувати дисципліну у змішаному режимі: ознайомлення з теоретичним матеріалом лекцій і розв'язування практичних завдань – самостійно, за необхідності проведення консультацій викладачем згідно графіку консультацій і відведеного на них часу, у відповідності до педагогічного навантаження викладача. Відпрацювання та захист лабораторних робіт здійснюється виключно очно, у відповідності до розкладу занять. Студент, що не захистив попередню лабораторну роботу не допускається до відпрацювання наступної.

Правила поведінки на заняттях.

Правила поведінки на заняттях регламентуються етичними нормами: всі учасники освітнього процесу в університеті повинні дотримуватись вимог чинного законодавства України, Статуту і Правил внутрішнього розпорядку НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», загальноприйнятих моральних принципів, підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності й толерантності, дбайливо ставитися до університетського майна. Під час аудиторних занять студенти повинні дотримуватись діючих правил охорони праці, безпеки життєдіяльності і правил пожежної безпеки, а у разі навчання за дистанційною формою виконувати вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я під час роботи з екранними пристроями.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Студенти зобов'язані дотримуватись термінів виконання усіх видів робіт, передбачених курсом. Порухення термінів виконання певного виду робіт враховується згідно рейтингової системи оцінювання.

Політика дедлайнів та перескладань

Пропущені контрольні заходи та/або завдання, які виконані студентом із незадовільною оцінкою, можуть додатково складатися для виконання та/або отримання задовільної оцінки (для підвищення оцінки) під час навчання до завершення термінів графіку освітнього процесу.

В разі порушення термінів і невиконання завдання з неповажних причин, студент не допускається до складання екзамену в основну сесію.

Політика щодо академічної доброчесності докладно описана у Кодексі Честі КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/code>) і передбачає повну відповідальність студента за те, що всі виконані ним завдання відповідають принципам академічної доброчесності.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин			Контрольні заходи	
	кредити	академічних годин	Лекції	Комп'ютерні практикуми	СРС	МКР	Семестрова атестація
2	4	54	36	18	66	1	залік

Рейтинг студента з дисципліни¹ складається з балів, що він отримує на:

1. виконана робота на комп'ютерному практикумі;
2. двох контрольних робіт на базі 1 модульної контрольної роботи;

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Комп'ютерний практикум

Ваговий бал – 4. Максимальна кількість балів за всі комп'ютерні практикуми дорівнює $9 \cdot 4 = 36$ балів. 3 бали зараховуються за 90 % відповіді. 2 бали за 75 % відповіді. 1 бал за 60 % відповіді. Відповідь, яка містить менше 60 відсотків необхідних даних оцінюється 0 балів.

2. Модульний контроль

Ваговий бал 32. Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи дорівнює $2 \cdot 32 = 64$. Контрольна робота складається з 4 питань, що максимально оцінюються по 8 балів кожне.

Загалом за кожну контрольну роботу студент отримує:

- «відмінно» - 29...32 бали;
- «добре» - 24...28 балів;
- «задовільно» - 19...23 бали;
- «незадовільно» - 0 балів.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

¹На кожні 2 години комп'ютерних практикумів припадає 4 години лекцій та 1 година СРС; **разом 7 годин**. 1 МКР забезпечує перевірку всього навчального матеріалу тому враховуємо **118 годин**. Знаходимо $\sum t_k = 9 \cdot 7 + 118 = 181$. Із розрахунку на 100 семестрових балів $r_{кп} = \frac{9 \cdot 100}{181} = 4,97$, $r_{мкр} = \frac{118 \cdot 100}{181} = 65,19$, балів. Зробимо певну корекцію $r_{кп} = 4$ бали, $r_{мкр} = 64$ бали. Модульна контрольна робота складається із 2 окремих контрольних робіт по 32 бали кожна, що проводяться перед 1 та 2 атестаціями на лекціях.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 4 \cdot 9 + 32 \cdot 2 = 100 \text{ балів}$$

Максимальна сума балів складає 100. Для отримання заліку з кредитного модуля «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів.

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку в системі ECTS, **виконують залікову контрольну роботу**. Завдання контрольної роботи складається з п'яти питань.

Кожне питання контрольної роботи (r_1, r_2, r_3, r_4, r_5) оцінюється у 20 балів відповідно до системи оцінювання:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 20-18 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) – 17-15 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 14-12 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Сума балів за кожне з п'яти питань **залікової контрольної роботи** переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Бали $R = r_{kp}$	Традиційна оцінка
95-100	Відмінно
85-94	Дуже добре
75-84	Добре
65-74	Задовільно
60-64	Достатньо
<60	Незадовільно
<40	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Можливо зарахування замість комп'ютерного практикума сертифікатів проходження дистанційних, в тому числі онлайн курсів за відповідною тематикою (не менше як 2 години).

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено асистент кафедри ЛВ Іванченко Дмитро Вікторович

Ухвалено кафедрою ливарного виробництва (протокол № 12 від 26.06.2024р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 12/24 від 28.06.2024 р.)